

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**  
**МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ**

**Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки**

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ О.Ф. Луговський  
(підпис) (ініціали, прізвище)  
“    ” \_\_\_\_\_ 2020 р.

**Дипломний проект**  
**на здобуття ступеня бакалавра**

з спеціальності **131 Прикладна механіка**  
(код і назва)

на тему: Поворотний модуль трубопровідного маніпулятора

Виконав (-ла): студент (-ка) 4 курсу, групи МА-61-2  
(шифр групи)

Голіченко Катерина Сергіївна \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник: Губарев Олександр Павлович, д.т.н., професор \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант з охорони праці ст.викладач Ковтун А.І. \_\_\_\_\_  
(назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультант з технології машинобудування к.т.н., доц. Корсеньков В.М. \_\_\_\_\_  
(назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2020 рік

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут механіко-машинобудівний  
( повна назва )

Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки  
( повна назва )

Рівень вищої освіти - перший (бакалаврський )

Спеціальність 131 Прикладна механіка  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

О.Ф. Луговський  
( підпис ) ( прізвище ініціали )

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020р.

**ЗАВДАННЯ  
на дипломний проект студенту**

Голіченко Катерині Сергіївні  
( прізвище, ім'я, по батькові )

1. Тема проекту: Поворотний модуль трубопровідного маніпулятора  
Керівник проекту: Губарев Олександр Павлович д.т.н., професор,  
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання )

затверджена наказом по університету від “ 30 ” травня 2020 року № 1326-с

2. Термін подання студентом проекту 10.06.2020

3. Вихідні дані до проекту розробити конструкцію поворотної секції для трубопровідного маніпулятора, зробити розрахунки для маніпулятора враховуючи поворотну секцію, розробити систему керування для маніпулятора

4. Зміст пояснювальної записки: Розділ 1 Аналіз існуючих патентів та розробок, Розділ 2 Обґрунтування принципової схеми урахуванням технічного завдання, Розділ 3 Розрахунок системи виконавчих пристроїв, Розділ 4 Система керування, Розділ 5 Технологія машинобудування, Розділ 6 Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо)

Перший лист – складальне креслення поворотної секції, другий лист – складальне креслення маніпулятора, третій лист – деталювання, четвертий лист схема підключення до контролера.

**6.Консультанти розділів проекту**

| Розділ                        | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|-------------------------------|---|----------------|------------------|
|                               |   | завдання видав | завдання прийняв |
| 1. Охорона праці              | ст.викл. Ковтун А.І.                      |                |                  |
| 2. Технологія машинобудування | доц. Кореньков В.М.                       |                |                  |
|                               |   |                |                  |
|                               |   |                |                  |
|                               |   |                |                  |
|                               |   |                |                  |
|                               |   |                |                  |

7. Дата видачі завдання 11.02.2020

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)              | Строк виконання етапів проекту ( роботи ) |  |
|-------|---|---|--|
| 1     | Аналіз існуючих патентів та розробок                            | 03.04.2020                                |  |
| 2     | Обґрунтування принципової схеми урахуванням технічного завдання | 20.04.2020                                |  |
| 3     | Розрахунок системи виконавчих пристроїв                         | 05.05.2020                                |  |
| 4     | Система керування   | 20.05.2020                                |  |
| 5     | Технологія машинобудування                                      | 29.05.2020                                |  |
| 6     | Охорона праці   | 31.05.2020                                |  |
| 7     | Складальне креслення поворотної секції                          | 02.06.2020                                |  |
| 8     | Складальне креслення маніпулятора                               | 04.06.2020                                |  |
| 9     | Деталювання   | 06.06.2020                                |  |
| 10    | Схема підключення до контролера                                 | 08.06.2020                                |  |
|       |   |   |  |
|       |   |   |  |
|       |   |   |  |
|       |   |   |  |
|       |   |   |  |

Студент

\_\_\_\_\_  
( підпис )

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

\_\_\_\_\_  
( підпис )

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

## Анотація

Дана робота присвячена розробці додаткової поворотної секції для трубопровідного маніпулятора, що призначений для тестування газопроводу з метою удосконалення процесу перевірки внутрішнього стану стінок. У дипломній роботі проведено детальний аналіз існуючих пристроїв та розроблених патентів приділяючи особливу увагу способам їх проходження різноманітних конфігурацій труб. Було визначено їх переваги та недоліки. Обґрунтовано необхідність удосконалення мобільного пристрою додатковою поворотною секцією та визначено необхідні конструктивні особливості пристрою. Проведено всі необхідні розрахунки для створення пристрою та розроблено систему керування мобільним пристроєм. Для більш чіткого уявлення будови мобільного пристрою для тестування газопроводу було створено його 3D модель. Для розуміння принципу керування пристроєм наведено електропневматичну схему.

Ключові слова: газопровід, мобільний пристрій, перевірка, тестування.

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ</i> | Лист |
|      |      |          |        |      |                                |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                                | 4    |

## Annotation

This work is devoted to the development of an additional rotary section for the pipeline manipulator, which is designed to test the pipeline in order to improve the process of checking the internal condition of the walls. In the thesis a detailed analysis of existing devices and developed patents is carried out, paying special attention to the ways of their passage of various configurations of pipes. Their advantages and disadvantages were identified. The necessity of improvement of the mobile device by an additional rotary section is substantiated and the necessary design features of the device are defined. All the necessary calculations for the creation of the device were made and a mobile device control system was developed. To better understand the structure of the mobile device for testing the pipeline, its 3D model was created. An electropneumatic diagram is given to understand the principle of device control.

Key words: gas pipeline, mobile device, inspection, testing.

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ</i> | Лист |
|      |      |          |        |      |                                |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                                | 5    |

# **Пояснювальна записка до дипломного проекту**

на тему: Поворотний модуль трубопровідного маніпулятора

Київ – 2020 рік

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ</i> | Лист |
|      |      |          |        |      |                                | 6    |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                                |      |

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| ВСТУП.....  | 9  |
| РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПАТЕНТІВ ТА РОЗРОБОК .....                                    | 10 |
| 1.1 Аналіз патентів .....   | 10 |
| 1.2 Сучасні розробки для інспекції внутрішнього стану труб.....                         | 14 |
| РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ З УРАХУВАННЯМ<br>УМОВ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ..... | 20 |
| РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ВИКОНАВЧИХ ПРИСТРОЇВ ТА ЇХ<br>ЕЛЕМЕНТІВ .....              | 24 |
| 3.1. Статичний розрахунок .....   | 24 |
| 3.1.1 Статичний розрахунок затискних пристроїв .....                                    | 24 |
| 3.1.2 Статичний розрахунок пристроїв повздовжн<br>ього переміщення .....                | 26 |
| 3.2. Динамічний розрахунок.....   | 27 |
| 3.2.2. Динамічний розрахунок пристроїв повздовжнього переміщення .....                  | 28 |
| РОЗДІЛ 4. СИСТЕМА КЕРУВАННЯ .....   | 53 |
| 4.1 Принцип роботи поворотної секції мобільного пристрою .....                          | 53 |
| 4.4 Підбір програмованого логічного контролера .....                                    | 64 |
| 4.4 Підбір елементів електропневматичної частини системи керування.....                 | 66 |
| РОЗДІЛ 5. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ .....  | 68 |
| 5.1 Технологічний розділ.....   | 68 |
| 5.1.1 Технологічний контроль якості кресленика .....                                    | 68 |
| 5.1.2 Аналіз службового призначення деталі та умов її роботи у вузлі.....               | 69 |
| 5.1.3 Вибір способу виготовлення заготовки та його технічне обґрунтування.....          | 71 |
| 5.2. Проектування маршрутного технологічного процесу .....                              | 73 |
| 5.2.1. Вибір типового технологічного процесу.....                                       | 73 |
| РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ .....   | 77 |
| 6.1 Опис приміщення .....   | 77 |
| 6.2 Мікроклімат робочого середовища .....   | 78 |
| 6.2 Освітлення робочого приміщення .....  | 79 |
| 6.3 Електробезпека робочого приміщення.....   | 82 |
| 6.4 Пожежна безпека будинку.....  | 83 |

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         | 7    |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 86 |
|---------------------------------|----|

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         | 8    |



## ВСТУП

На даному етапі розвитку технічного прогресу, транспортування газу є дуже важливою складовою забезпечення промисловості і населення енергоносіями. В Україні на деяких ділянках трубопроводи газових магістралей експлуатуються до 50-ти, або навіть більше років. Таким чином, для безпечного і безперервного транспортування газу необхідно проводити періодичну та регулярну перевірку стану всіх газових магістралей. Газопроводи можуть бути найрізноманітніших конфігурацій: з поворотами на різні кути, або з великою кількістю розгалужень. Тому для нормальної та легкої діагностики трубопроводу ідеальний пристрій має бути в змозі долати такі ділянки. Крім того, важливим аспектом є те, що зараз, для того об здійснити перевірку, необхідно повністю відключати газопровід від газопостачання. Це є великим недоліком більшості існуючих систем.

Тому у цій роботі основне завдання полягає у модернізації вже розробленого пристрою для надання йому можливості виконувати керовані повороти. Додатковим завданням є розробка системи керування, з урахуванням того, що система має мати мале енергоспоживання.

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ</i> | Лист |
|      |      |          |        |      |                                | 9    |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                                |      |

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПАТЕНТІВ ТА РОЗРОБОК

### 1.1 Аналіз патентів

Для недопущення аварійних ситуацій, що, в певних випадках потенційно можуть завдавати серйозну шкоду здоров'ю та життю людей, а також значно пошкодити майно, необхідно вчасно регулярно та якісно проводити діагностику газового трубопроводу. Навіть незначні пошкодження труб, такі як маленькі тріщини або корозія стінок на початковому етапі можуть в майбутньому призвести до досить неприємних наслідків. Тому наразі актуальним є питання розробки механізму, який призначений для виявлення дефектів газогону, який при цьому не завдаватиме незручностей у вигляді припинення газопостачання і зможе вільно проходити ділянки труб з певними конфігураціями поворотів і розгалужень .

Для того щоб більш детально опрацювати дану тему, і врахувати недоліки існуючих пристроїв розглянемо вже існуючі моделі-аналоги.

На рис. 1.1 зображено схему приладу для аналізу внутрішнього стану стінок трубопроводу. Конструкцію даного дефектоскопу яку в 2002 році було запропоновано та запатентовано, номер патенту DE000010163430. Винахід відноситься до пристроїв для контролю газопроводів, шляхом пропуску всередині контрольованого трубопроводу пристрою, що складається з одного або декількох транспортних модулів, що просуваються всередині трубопроводу за рахунок тиску для потоку газу, що транспортується по трубопроводу, з встановленими на корпусі датчиками, чутливими до певних параметрів, що відображають технічний стан магістрального трубопроводу. Інакше кажучи, на відміну від інших розробок, рушійною силою даного механізму є перепад тисків, що утворюється рідиною або газом, що протікає в трубопроводах. Його основною метою є перевірка прохідності трубопроводу та наявності перешкод.

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ</i> | Лист |
|      |      |          |        |      |                                | 10   |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                                |      |

Пристрій може бути використано також для контролю стану внутрішніх стінок нафтопроводів і нафтопродуктопроводів. [1]

Контроль стану трубопроводу відбувається за допомогою індукційних датчиків, які вимірюють магнітне поле тільки в момент переміщення, що ускладнює процес діагностики на ділянках трубопроводів, на яких відбувається значне гальмування дефектоскопа (зокрема, в місцях звуження, на невеликих поворотах). Головним недоліком є це відсутність фіксації приладу, що може призвести до падіння конструкції у випадку його вертикального положення при падінні тиску на лінії. Ще одним значним мінусом є те, що пристрій через свою конструкцію має змогу долати лише ділянки поворотів з великим радіусом, або дуже малим кутом, і взагалі не в змозі долати розгалуження трубопроводу з можливим вибором напрямку руху. Крім того, пристрій може працювати в досить обмеженому діапазоні температур. Всі ці фактори значно впливають на область можливих застосувань запропонованої конструкції [1]. Як висновок, застосування такого механізму в якості приладу для моніторингу – не доцільно.

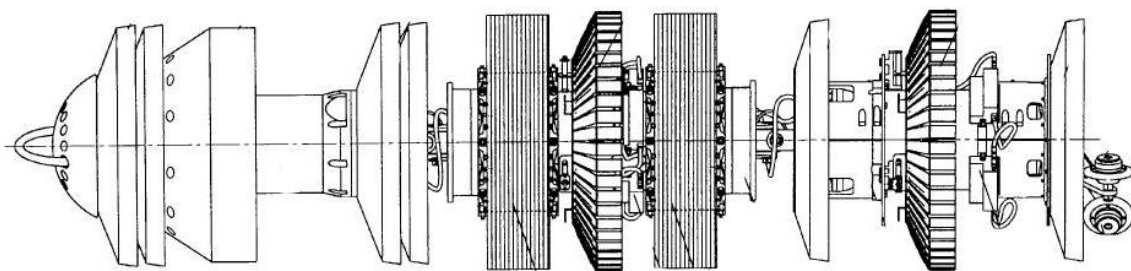


Рис. 1.1 Схема вимірювального приладу для трубопроводу [1]

В 2015 році було зареєстровано патент RU0002599072 «Пристрій внутрішньотрубної дефектоскопії» (рис. 1.2). Заявлений винахід відноситься до

області неруйнівного контролю трубопровідного транспорту, зокрема до пристроїв внутрішньотрубної діагностики, і призначене для просторової прив'язки результатів їх вимірювань, прив'язки координат виявлених дефектів до координат земної поверхні. [2]

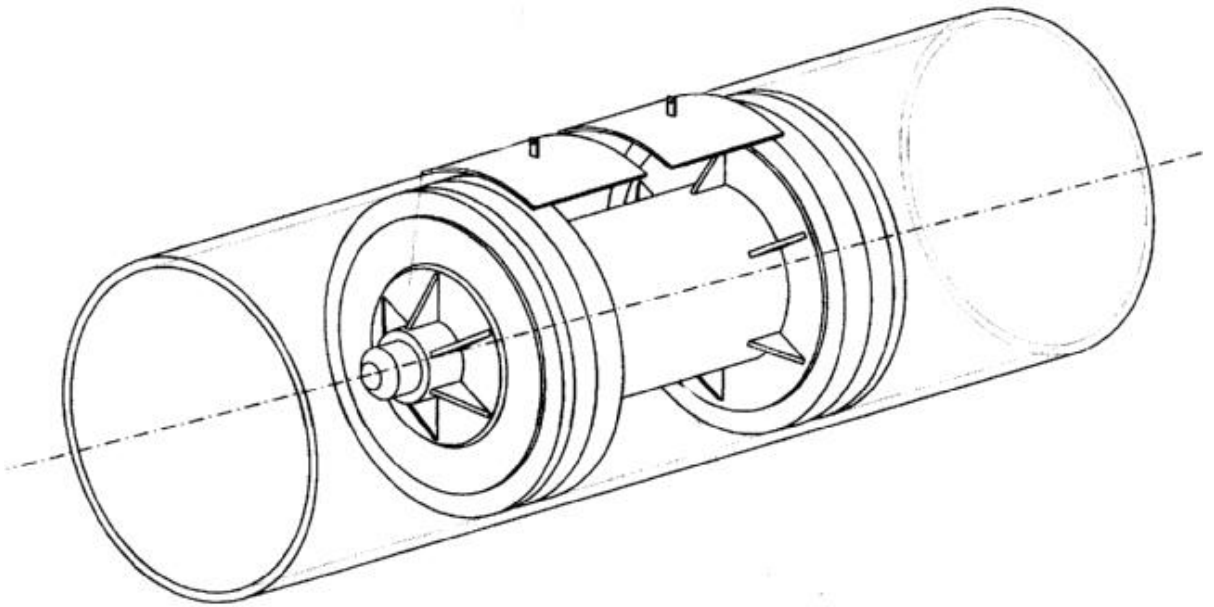


Рис. 1.2 Схема пристрою для перевірки трубопроводів із засобами для кореляції записаних сигналів дефектів [2]

Пристрій внутрішньотрубної дефектоскопії функціонує таким чином: він містить маркерні накладки у вигляді вигнутих пластин, розміщених на зовнішньої поверхні трубопроводу уздовж його поздовжньої осі, і дефектоскоп, що проходить всередині трубопроводу і забезпечений модулем вимірювання товщини стінки трубопроводу. Маркерні накладки закріплені на трубопроводі таким чином, що їх внутрішня поверхня прилягає до зовнішньої поверхні трубопроводу. Для необхідної точності прив'язки дефекту до координат місцевості маркерні накладки розміщують на поверхні трубопроводу уздовж його поздовжньої осі регулярно на відстані  $1,5 \div 2,0$  км один від одного, що забезпечує точність визначення координат дефекту з похибкою  $\pm 2,0$  м. Маркерні

накладки виконані у вигляді вигнутих металевих пластин і мають товщину  $\geq 0,5$  товщини стінки трубопроводу, завдяки чому модуль дефектоскопа фіксує потовщення стінки трубопроводу, що відповідають певним маркерним накладок. При товщині накладок  $< 0,5$  товщини стінки трубопроводу цієї статті не гарантується виявлення потовщення стінки трубопроводу. Проблеми фіксації пристрою в середині трубопроводу, долання ділянок непрямої конфігурації, та долання розгалужень залишаються невирішеними і для цієї моделі. [2]

Трохи іншу конструкцію було зображено в патенті RU0002704517 (рис. 1.3), в якому представлена ціла група винаходів, що відноситься до області діагностики технічного стану трубопроводів, і може бути використана при дефектоскопії внутрішніх захисно-ізоляційних покриттів, щоб уникнути неконтрольованого розриву захисних покриттів і пошкодження стінки труби. Завданням винаходу є виявлення пошкоджень захисно-ізоляційного покриття трубопроводу, а саме активного корозійного руйнування. Спосіб полягає в подачі постійної напруги на відповідні електроди внутрішньо трубного обладнання, використовуючи вбудовані джерела напруги і вимірі струму через внутрішнє захисно-ізоляційне покриття трубопроводу, що виникає на ділянці, обмеженій двома ізолюючими манжетами, герметично закріпленими на корпусі приладу. [3]

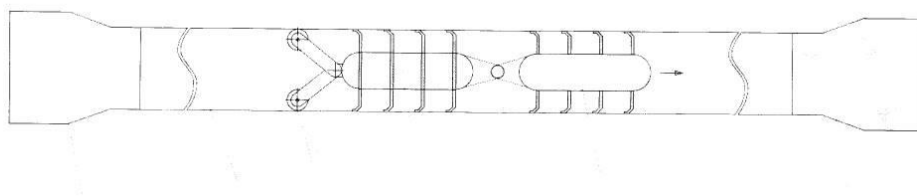


Рис. 1.3 Схема апарату контролю для виявлення ізоляційних дефектів [3]

Прилад складається з 3-х основних елементів: вимірювальної секції, одометричних коліс для вимірювання пройденої відстані, і радіомаяка для

зовнішнього контролю положення приладу. Вимірювальна система містить вимірювальний електрод в середній частині, а також електрод в задній частині приладу і електрод в передній частині, щодо яких проводиться вимірювання, причому вимірювальний електрод підключений через низькоомний шунт для вимірювання параметрів струму. З метою усунення впливу витоку електричного струму в зазорі між ізолюючими манжетами і внутрішньою стінкою обстежуваного трубопроводу, прилад містить екранні електроди з двох сторін від вимірювального електрода, що мають рівний з ним електричний потенціал.

[3]

Отже, на відміну від попередніх аналогів, в конструкції цього приладу використовуються принципово відмінні способи діагностики пошкоджень газопроводу, а саме індикатори, які реагують вже існуючі витоки, існуючі тріщини, що означає, що для діагностики пошкоджень на початкових етапах, та виявлення дефектів які не спричинені руйнуванням ізоляції пристрій абсолютно не призначено. Але, важливо зазначити, як і попередні моделі прилад рухається по трубопроводу лише за рахунок перепаду тисків. Надійна фіксація дефектоскопу в середині газопроводу відсутня, як висновок для використання апарату даної конструкції на ділянках газогонів що розташовані вертикально, не припустима. Адже у випадку зменшення тиску в системі, велика ймовірність падіння, що може стати причиною руйнування приладу та інших негативних наслідків.

## 1.2 Сучасні розробки для інспекції внутрішнього стану труб

В сучасних розробках функціонал набагато ширший, і недоліків, що значно впливали б на роботу менше. За рахунок найрізноманітніших варіацій конструкцій, та підвищеної надійності приладів можна підібрати конструкцію, яка буде пасувати кожному конкретному випадку конфігурації трубопроводу.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         | 14   |

Перший пристрій, який було розглянуто в рамках аналізу аналогів сучасних пристроїв став Гусеничний інструмент для внутрішнього огляду труб «AccuTrak» (рис. 1.5), розроблений в США. Сканер AccuTrak був розроблений як багатоцільовий сканер, здатний сканувати розміри труби від 120 мм до 300 мм з високою точністю та досить великою швидкістю. Цей сканер ідеально підходить для внутрішнього огляду труб за допомогою ультразвуку, лазера та візуальних технологій. Налаштування просте, працює за допомогою 8-канального детектору ProScan для отримання багатоканальних УТ даних. Що робить діагностику якісною, в дуже високому спектрі різноманітних пошкоджень. Сканер AccuTrak спроектовано модульно, тому модифікації або ремонти можна проводити за лічені хвилини прямо на місці. Перевагою також є можливість модернізуватися до 3-осі комп'ютерної системи керування растровим скануванням зварного шва, перевірки бака. [4]

Отже, перевагами такої конструкції є висока якість діагностики, можливість автономного живлення, модульна система, що дозволяє швидко проводити ремонт пристрою і його модернізацію, Можливість працювати в досить великому діапазоні діаметрів, спеціальний програмний модуль для визначення дефектів баку чи зварного шва, можливість здійснювати горизонтальні повороти. Основні недоліки криються в неспроможності працювати під час роботи газопостачання, відсутність фіксації у трубопроводі, неможливість проходити через ділянки труб з вертикальними поворотами. Система, звичайно, більш розвинута, з ширшим функціоналом аніж у попередньо розглянутих дефектоскопів, але пристрій все ще має велику кількість недоліків, що не робить його універсальним.



Рис. 1.5 AccuTrak – модульний робот-сканер [4]

Наступний цікавий екземпляр - Робот CIRRI XI (рис. 1.6). За рахунок незвичайної конструкції дає можливість проводити діагностику в широкому діапазоні діаметрів, а саме від 120 мм до 480 мм, або проводити діагностику трубопроводу змінного діаметру, якщо значення діаметрів не виходять за рамки даного діапазону. Колісна база робота також призначена для кріплення додаткових сенсорних модулів, які використовують магнітні поля, ультразвук або вихрові струми для перевірки товщини стінок труби і наявності тріщин. Робот керується програмно і дистанційно, за допомогою модуля безконтактної передачі інформації. Важливим є також момент, що робот має можливість проводити незначні ремонтні роботи всередині трубопроводу, може відновлювати механічні і свинцево-джутові з'єднання, а також встановлювати внутрішні механічні ущільнювачі для зупинки та запобігання протікання. За рахунок цього досягається його економічна вигідність. [5]

Іншими словами, основні переваги: великий діапазон робочих діаметрів, можливість долаття поворотів, як горизонтальних так і вертикальних, що можуть траплятися на шляху трубопроводу, можливість виконувати незначний

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         | 16   |



ремонт. За допомогою пневмоциліндрів, що розташовані по обидва боки від коліс, робот може фіксуватися всередині газопроводу. При цьому, робот досить швидко проходить через трубопровід, долаючи великі відстані за відносно невеликий час. Недоліки: велика маса, через що пристрій не може бути застосований для пластикових трубопроводів, лише для трубопроводів що виконані з чавуну або сталі, відсутність автономного живлення, неможливість долати розгалуження, досить малий спектр діагностуємих дефектів. Ще одним важливим недоліком є необхідність відімкнення ділянки, що підлягає діагностиці, від газопостачання. Все перелічене робить конструкцію цього робота цікавою і корисною. Але, не зважаючи на це, робот все ж таки не є універсальним. Для деяких систем трубопроводів він ідеально підходить, для деяких абсолютно не пристосований. Тому варто враховувати всі параметри системи при виборі девайсу, що призначений для інспекції газогону, для того щоб ця діагностика була справді якісною.

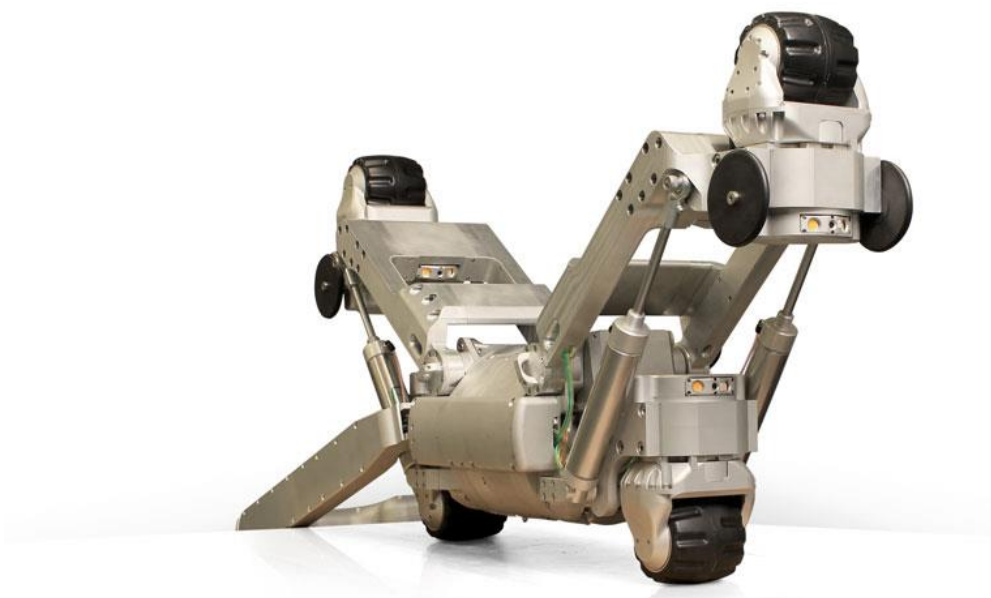


Рис. 1.6 CIRRIS XI – сучасний робот, що в змозі ліквідовувати певні пошкодження під час діагностики [5]

Отже, основним завданням є спроба усунення максимальної кількості всіх вищеперерахованих недоліків та спроба зробити більш універсальний пристрій для інспекції і діагностики трубопроводу. Головним аспектом роботи стане розробка таких конструктивних особливостей, що нададуть роботу змогу проходити через досить складні конфігурації систем газогонів, долаючи повороти до 45 градусів, та усі можливі варіанти розгалуження трубопроводу, в випадку якщо зміна напрямку руху не перевищуватиме заданого кута.

В якості діагностуючого елемента обираємо метод візуальних спостережень, а саме кріпимо комплекс камер, які будуть збирати інформацію під час руху. Як доповнення, модуль бездротової передачі сигналу, який зробить можливим передачу інформації про пошкодження, та координати поточного положення робота відносно газопроводу з достатньою точністю. Це дасть можливість точно визначити місце недоліків для подальшого їх усунення. Проаналізувавши вже існуючі розробки та патенти, робочих пристроїв для інспекції внутрішнього стану стінок трубопроводу та відповідне середовище роботи мобільного пристрою, визначимо важливі конструктивні особливості, на які треба обов'язково зважати під час подальшого конструювання а саме:

- 1) Зважаючи на середовище роботи – пристрій має мати вибухозахисне виконання;
- 2) Наявність додаткової секції для можливого подолання поворотів у всіх площинах;
- 3) можливість програмного задання траєкторії руху, у випадку розгалуження трубопроводу;
- 4) автономне живлення, яке буде в змозі забезпечити роботоспроможність усіх елементів конструкції, в тому числі і поворотного модуля протягом усього часу роботи на певній ділянці;
- 5) наявність затискних елементів, за допомогою яких пристрій зможе здійснювати повороти вертикально вгору, і подальшого руху у цьому напрямку;

6) має пристосовуватись до роботи в трубопроводі обмеженого діапазону змінних діаметрів;

7) наявність елемента для візуального контролю за внутрішнім станом трубопроводу;

8) наявність модуля для дистанційного керування і можливості зміни траєкторії під час роботи. [6]

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ</i> | Лист |
|      |      |          |        |      |                                | 19   |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                                |      |

## РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ З УРАХУВАННЯМ УМОВ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

Згідно з умов технічного завдання, необхідно спроектувати зразок додаткової поворотної модульної секції до вже існуючого трубопровідного маніпулятора. Загалом конструкція призначена для діагностики внутрішнього стану трубопроводу.

Враховавши середовище, до конструкції що проектується ставляться наступні вимоги: можливість долання поворотів на кут до  $45^\circ$ , можливість проходити через ділянки газопроводу з розгалуженнями. Крім того, до конструкції поворотної секції стосуються і вимоги, що стосуються загальної частини існуючого робота, а саме: радіус закруглення труби не менше R1000; також було вказано, що перетин робота не повинен зменшувати перетин газопроводу більш ніж на 50%; тиск в магістралі  $p = 1.5 \div 3 \text{ бар}$ ; швидкість не більше 1,2 м\хв; поворот труби на кут не більше  $<15^\circ$ ; радіус закруглення не менше R1000; діаметр труб фіксований, наприклад, 150мм. [7]

Для забезпечення даних умов було вирішено модернізувати існуючий трубопровідний мобільний пристрій, доповнивши його додатковим поворотним модулем. В результаті, маніпулятор буде складатися вже з чотирьох секцій, перша з яких буде забезпечувати можливість здійснення повороту, інші три необхідні для руху всередині газопроводу.

Все перелічене надає: можливість проводити діагностику трубопроводу не вимикаючи газопостачання; можливість руху вертикально вгору і вертикально вниз; можливість долати перешкоди, що спричинені пошкодженням поверхонь труб; автономне переміщення пристрою для діагностики газопроводу.[7]

Необхідно врахувати наступні умови технічного завдання: розроблювальна поворотна секція як і існуючий робот мають працювати в наступних умовах: робоче середовище - природний газ, надлишковий тиск в

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         | 20   |

системі від 3 бар, швидкістю потоку до 15 м/с. Враховуючи умови було прийнято забезпечити рух додаткової секції, як і уже існуючих трьох, за допомогою енергії газу, що транспортується газогоном. З конструктивних умов приймаємо, що поворотна секція буде з'єднуватися з маніпулятором за допомогою п'яти пневматичних приводів. Саме така конструкція надасть можливість виконання контрольованих поворотів всередині газопроводу. [7]

Кожна з чотирьох секцій мобільного пристрою (рис. 2.1) обладнана керованим поворотним дроселем і п'ятьма затискними пристроями, що фіксують положення кожної секції відносно газопроводу, секції 2 і 3 та 3 і 4 з'єднуються за допомогою пневмоциліндра. Секції 1 і 2 з'єднуються за допомогою п'яти пневмоциліндрів.

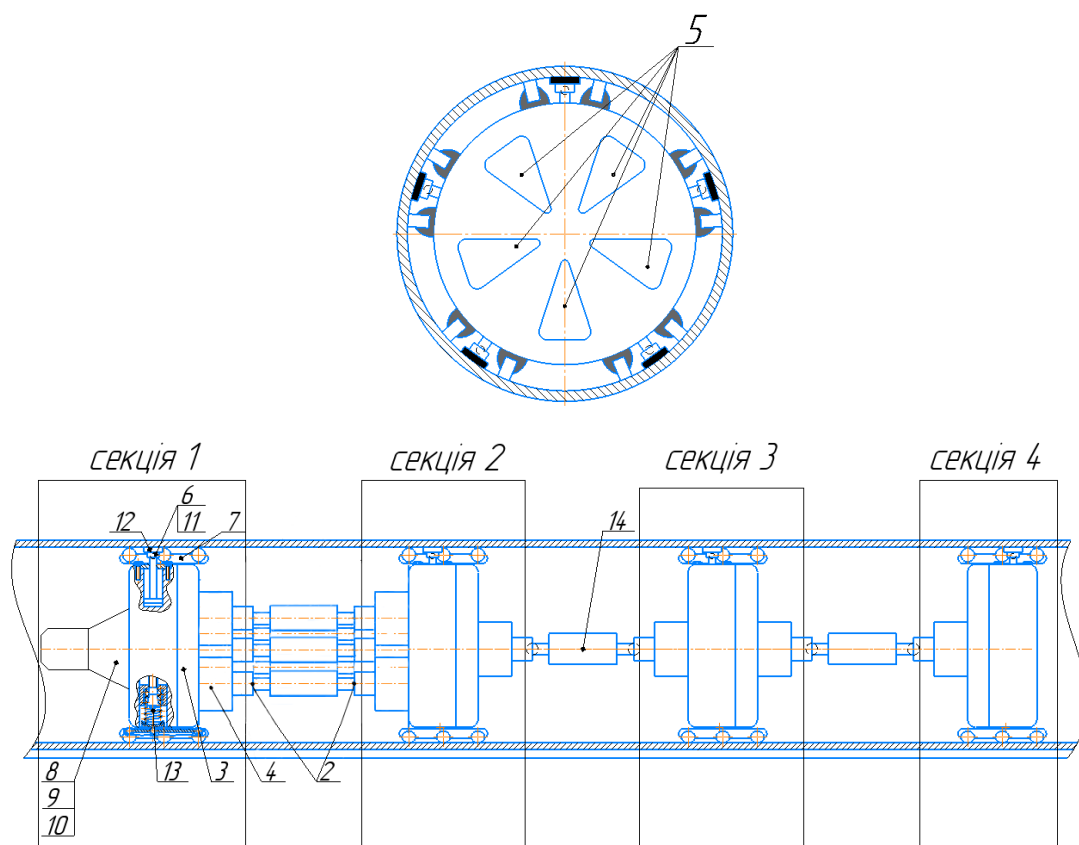


Рис. 2.1 Принципова схема розроблюваного механізму.

Механізм руху здійснюється наступним чином: В вихідному положенні всі приводи повздовжнього руху втягнуті, притискні пристрої витягнуті. На

першій секції перемикається положення дроселя, а притискні пневмоциліндри на цій секції втягуються. В наслідок виникнення аеродинамічного опору на першій секції, вона переміщується в напрямку руху газу. Після цього, фіксуючі приводи затискають секцію, і ці ж дії виконуються для всіх секцій по черзі. Таким чином мобільний пристрій може відносно швидко рухатись по газогону збираючи інформацію про його стан.[7]

Пристрій має змогу здійснювати повороти (Рис. 2.2) і обирати напрямок руху при розгалуженні трубопроводу за допомогою передньої секції. Механізм здійснення повороту наступний. Необхідність здійснення самого повороту (напрямок, кут, відстань чи кількість кроків) задається програмно перед початком роботи. Перша секція з'єднується з наступною за допомогою п'яти пневмоциліндрів, кожний з яких керований за допомогою окремого розподільника. Коли пристрій підходить до ділянки, де необхідно здійснити поворот, розподільники спрацьовують таким чином, що висуваються штоки тільки тих циліндрів, які забезпечують нахил першої секції в потрібному напрямку, який залежить від напрямку повороту трубопроводу. Внаслідок цього, перша секція нахиляється у потрібну сторону і, після переміщення відносно другої секції, притискається затискними пристроями до трубопроводу. Після цього до першої секції підтягуються усі інші і рух продовжується звичайним чином.

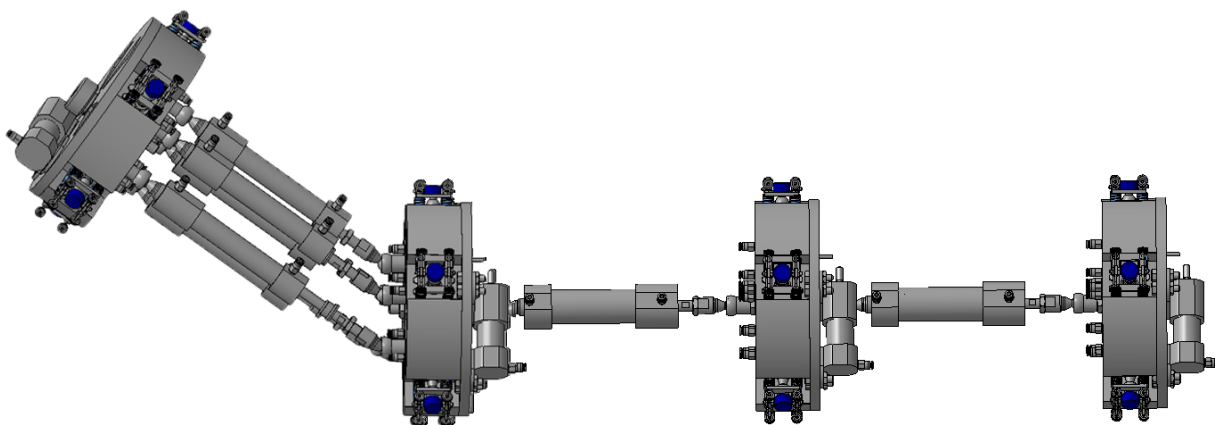


Рис. 2.2 3д-модель механізму в режимі повороту вгору.

Інформацію щодо стану стінок збирає прилад за допомогою камер та датчиків, що розташовані на першій секції. Контроль приводів відбувається а допомогою програмованого контролера. За для економії енергії, кількість якої обмежена автономним режимом функціонування і обмеженим простором, який може займати прилад, в пристрої відсутні позиційні датчики для циліндрів повздовжнього переміщення і затискних пристроїв. Замість них контроль положення відбувається за часом за допомогою таймерів мікроконтролера. Таким чином забезпечено суттєве скорочення споживчої енергії та спрощено конструкцію. [6]

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ</i> | Лист |
|      |      |          |        |      |                                | 23   |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                                |      |

## РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ВИКОНАВЧИХ ПРИСТРОЇВ ТА ЇХ ЕЛЕМЕНТІВ

На даному етапі роботи, для подальшого вирішення поставленої задачі, необхідно провести статичні та динамічні розрахунки пневмоприводу.

### 3.1. Статичний розрахунок

#### 3.1.1 Статичний розрахунок затискних пристроїв

Для знаходження основних конструктивних параметрів, таких як внутрішній діаметр гільзи, діаметр штока та діаметри умовних проходів було виконано статичний розрахунок. Статичний розрахунок виконувався для приводу повздовжнього переміщення і приводу затискних пневматичних приводів. Пневмоциліндри, основною функцією яких є затискання, іншими словами фіксація секції, лише в кінці ходу розвивають технологічне зусилля. Для розрахунку внутрішнього діаметру гільзи скористуємося наступною формулою (3.1) [8]:

$$D_f = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{P_2 \pm m \cdot g}{0,9 \cdot p_m - p_a}}, \quad (3.1)$$

Підставивши відповідні значення у формулу (3.1) отримаємо наступне:

$$D_f = 1,13 \sqrt{\frac{P_2 \pm mg}{0,9 \cdot p_m - p_a}} = 1,13 \sqrt{\frac{14,3 + 0,5}{0,9 \cdot 303975 - 151987,5}} = 0,0123 \text{ м}$$

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         | 24   |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |



Оскільки гільза виготовляється зі стандартних заготовок, оберемо підходяще значення зі стандартного ряду [9]:  $D_f = 0,012\text{ м} = 12\text{ мм}$ , тоді діаметр штока дорівнюватиме:

$$d_f = 0,32 \cdot D_f = 0,32 \cdot 12\text{ мм} = 3,84\text{ мм}$$

Аналогічно як з діаметром гільзи, згідно з нормованим рядом діаметрів [10], обираємо  $d_f = 4\text{ мм}$ .

Умовний прохід підводящих отворів розраховуємо за формулою (3.2) [8]

$$d_y \cong D \cdot \sqrt{\frac{s}{w_{cep} \cdot t_{оч}}}, \quad (3.2)$$

Де:  $D$  – діаметр поршня;

$s$  – хід штока;

$w_{cep} = 15\text{ м / с}$  – середня швидкість потоку газу в газопроводі;

$t_{оч}$  – час спрацювання пневмоциліндру, що очікується.

Підставивши значення у формулу (3.2), отримаємо наступне:

$$d_y \cong D \cdot \sqrt{\frac{s}{w_{cep} \cdot t_{оч}}} = 0,012 \cdot \sqrt{\frac{0,05}{15 \cdot 0,6}} = 0,00019\text{ м}.$$

Де  $w_s$  – середня швидкість потоку стиснутого повітря;

$t_o$  – очікуваний час спрацювання.

Згідно стандартного ряду найближчим до отриманого значення, та в той же час підходящим буде наступне значення параметру умовного проходу приєднувальних отворів[10]:

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         | 25   |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

$$d_{yf} = 0,002\text{м} = 2\text{мм}$$

### 3.1.2 Статичний розрахунок пристроїв повздовжнього переміщення

У пневмоциліндрів, що забезпечують повздовжній рух, а це означає, що технологічне навантаження в них буде прикладене по всій довжині ходу, і в такому випадку внутрішній діаметр циліндру знаходиться за формулою (3.3)[8]:

$$D_p = 1,13 \sqrt{\frac{P_T \pm mg}{p_m \cdot \chi_p (1 \pm k_T)}} \quad (3.3)$$

Де  $P_T$  – технологічне навантаження,

$mg$  – сила тяжіння, враховується при вертикальному або нахиленому під кутом до горизонту пневмоциліндра,

$p_m$  – тиск повітря у підвідній лінії

$\chi_p$  – коефіцієнт, що вибирається залежно від значення тиску  $p_m$

Оскільки складова  $mg$  враховується лише при вертикальному або нахиленому під кутом до горизонту пневмоциліндра, розрахуємо діаметр при найвищому положенні, а саме положенні, нахиленому під 45 градусів до горизонту:

$$D_p = 1,13 \sqrt{\frac{7,84 + 3,32}{303975 \cdot 0,6(1 - 0,1)}} = 0,009322\text{м},$$

Отже, маємо:

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         | 26   |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

$$D_p = 0,009322\text{м} = 9,32\text{мм} ,$$

Згідно з нормованим рядом діаметрів [10]  $D_p = 10\text{мм}$ .

Тоді діаметр штока:

$$d_p = 0,32 * D_p = 0,32 * 10 = 3,2\text{мм}.$$

Згідно з нормованим рядом діаметрів [10] приймемо, що  $d_p = 6\text{мм}$ .

Умовний прохід отворів для приєднання трубопроводів рахуємо за формулою:

$$d_{yp} = D \sqrt{\frac{s}{w_s * t_o}} \quad (3.4)$$

Де  $w_s$  – середня швидкість потоку стиснутого повітря;

$t_o$  – очікуваний час спрацювання.

Підставивши значення:

$$d_{yp} = D \sqrt{\frac{s}{w_s * t_o}} = 0,01 \sqrt{\frac{0,005}{15 * 0,6}} = 0,0002,$$

Тоді згідно стандартного ряду [10]:

$$d_{yp} = 0,002\text{м} = 2\text{мм}$$

### 3.2. Динамічний розрахунок

За допомогою динамічного розрахунку можна знайти такі параметри: час спрацювання пневмоциліндра, закон прямування рухомих елементів приводу,

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         | 27   |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

діючі швидкості та прискорення, характер зміни тиску в порожнинах пневмодвигуна [8].

### 3.2.2. Динамічний розрахунок пристроїв повздовжнього переміщення

Основна розрахункова схема пристроїв, що відповідають за повздовжнє переміщення вказана на рис. 3.1. Головним елементом цієї схеми є пневмоциліндр поршневого типу та двосторонньої дії. На схемі пневмоциліндр повздовжнього переміщення зображений в момент руху вперед. Варто додати, що технологічне зусилля прикладене до поршня та штоку циліндра під час усього руху в обох напрямках. [11]

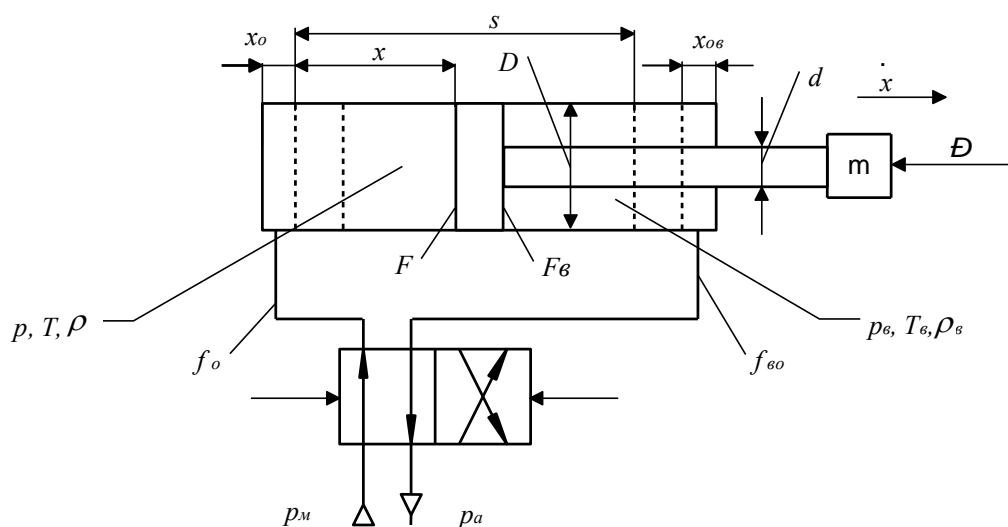


Рисунок 3.1 Розрахункова схема для пристроїв повздовжнього переміщення [11]

Положення поршня знаходиться за допомогою координати  $x$  поточного розташування, що рахується від умовного нуля в обраній системі координат. В початковому положенні поршня приймаємо  $x = 0$ , але між поршнем і кришкою існує ще шкідливий об'єм. Також, на розрахунковій схемі циліндра показана координата  $x_0$ , що характеризує мінімальний об'єм робочої для порожнини

циліндру. Фактичний мінімальний робочий об'єм порожнини рівний сумі з шкідливого об'єму і об'єму трубопроводу. При розрахунках не можна нехтувати неоднорідністю умов наповнення порожнини і трубопроводу. А це означає, що фактичний дійсний об'єм трубопроводу замінимо його розрахунковим значенням. Координата  $x_0$  при цьому розраховується за формулою (3.5) [11]:

$$x_0 = \frac{V_{p\min}}{F} = \frac{V_0 + V_{pm}}{F} \quad (3.5)$$

де  $V_{p\min}$  – мінімальний розрахунковий об'єм робочої порожнини;

$F$  – площа поршня з боку робочої порожнини;

$V_0$  – шкідливий об'єм циліндру;

$V_{pm}$  – розрахунковий (приведений) об'єм трубопроводу. [11]

Виконаємо необхідні розрахунки для знаходження координати  $x_0$ :

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,012^2}{4} = 0,000113 \text{ м}^2$$

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,01^2}{4} = 7,85 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

$$V_0 = 0,01 \cdot F \cdot s = 0,01 \cdot \frac{\pi \cdot 0,01^2}{4} \cdot 0,08 = 6,28 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$$

$$V_{pm} = 0,87 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$x_0 = \frac{6,28 \cdot 10^{-8} + 0,87 \cdot 10^{-6}}{7,85 \cdot 10^{-5}} = 0,01 \text{ м}$$

Так само знаходимо координату  $x_{0\epsilon}$ , яка характеризує мінімальний розрахунковий об'єм для порожнини вихлопу [11]:

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         | 29   |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

$$F_B = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \frac{3.14 \cdot (0.01^2 - 0.006^2)}{4} = 5,024 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

$$V_{0B} = 0,01 \cdot F \cdot s = 0,01 \cdot 5,024 \cdot 10^{-5} \cdot 0,08 = 4,0192 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3$$

$$V_{pmB} = 1,047 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$x_{0B} = \frac{4,0192 \cdot 10^{-8} + 1,047 \cdot 10^{-6}}{5,024 \cdot 10^{-5}} = 0,021 \text{ м}$$

### 3.2.1.1 Знаходження пропускної здатності пневмоліній

#### 3.2.1.1.1 Знаходження пропускної здатності напірної пневмолінії

Пневмолінія розроблюваного пристрою складається з двох частин, послідовно з'єднаних між собою розподільником, трубопроводу, а отже, ефективну площу його перетину можна представити приведеною величиною (рис. 3.1) [12].

При послідовному з'єднанні елементів системи та ділянок напірної пневмолінії маємо (3.6) [12]:

$$\frac{1}{fe^2} = \frac{1}{fe_R^2} + \frac{1}{fe_{L1}^2} + \frac{1}{fe_{L2}^2} \quad (3.6)$$

Значення пропускної здатності розподільника Festo VUVG-B18-B52-ZT-F-1P3  $K_v = 60 \text{ м}^3 / \text{год}$  [12].

Ефективну площу розподільника знайдемо за формулою (3.7) [12]:

$$fe = \frac{K_v}{5 \cdot 10^4} \quad (3.7)$$

$$fe_R = \frac{K_v}{5 \cdot 10^4} = \frac{60}{5 \cdot 10^4} = 0,0012 \text{ м}^2$$

Знайдемо  $f e_{L1}$ , для цього знаходимо коефіцієнт сумарних витрат  $\xi_1$  використавши формулу (3.8) [12]:

$$\xi = \frac{\lambda \cdot l_L}{2 \cdot d} \quad (3.8)$$

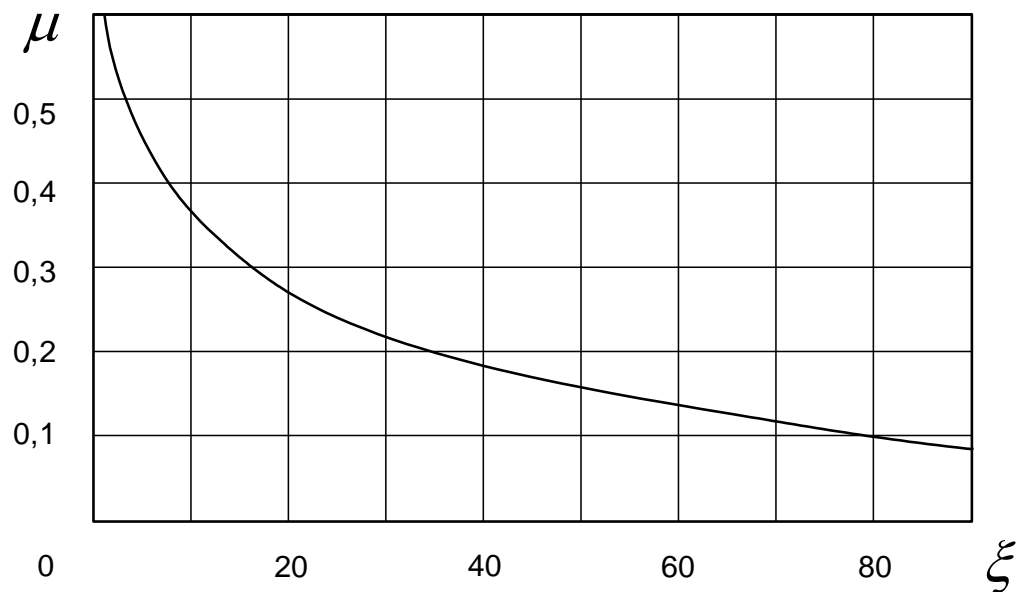


Рисунок 3.2 Графік залежності  $\mu=f(\xi)$  [12]

$$\xi_1 = \frac{\lambda \cdot l_{L1}}{2 \cdot d_{L1}} = \frac{0,03 \cdot 0,15}{2 \cdot 0,002} = 1,125$$

де  $\lambda = 0,03$  – коефіцієнт тертя повітря;

$d = 0,002\text{м}$  – діаметр трубопроводу;

$l_{L1} = 0,15\text{м}$  – довжина першої ділянки системи трубопроводу. [12]

За величиною  $\xi_1$  знаходимо величину  $\mu_1 = 0,58$  використовуючи графік  $\mu = f(\xi)$  (рис. 3.2) [12].

Потім розрахуємо ефективну площу (3.9) [12]:

$$fe_L = \mu \cdot f_L \quad (3.9)$$

де  $f_L$  – площа поперечного перетину трубопровода (3.10).

$$f_L = \frac{\pi \cdot d_L^2}{4} \quad (3.10)$$

$$f_{L1} = \frac{\pi \cdot d_{L1}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,002^2}{4} = 3,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Підставимо значення для отримання значення площі:

$$fe_{L1} = \mu_1 \cdot f_{L1} = 0,58 \cdot 3,14 \cdot 10^{-6} = 1,82 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Аналогічно проводимо розрахунок для  $fe_{L2}$  [12]:

$$\xi_2 = \frac{\lambda \cdot l_{L2}}{2 \cdot d} = \frac{0,03 \cdot 0,2}{2 \cdot 0,002} = 1,5$$

де  $\lambda = 0,03$  – коефіцієнт тертя повітря;

$d = 0,002 \text{ м}$  – діаметр трубопровода;

$l_{L2} = 0,2 \text{ м}$  – довжина другої ділянки трубопроводу.

За величиною  $\xi_2$ , використаємо графік  $\mu = f(\xi)$  (рис. 3.2), і знаходимо величину  $\mu_2 = 0,56$  [12]. Значення площі:

$$f_{L2} = \frac{\pi \cdot d_{L2}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,002^2}{4} = 3,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$



$$fe_{L2} = \mu_2 \cdot f_{L2} = 0,56 \cdot 3,14 \cdot 10^{-6} = 1,76 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Підставимо отримані розрахункові значення в формулу (3.6), отримаємо наступне[12]:

$$\frac{1}{fe^2} = \frac{1}{(0,0012)^2} + \frac{1}{(1,82 \cdot 10^{-6})^2} + \frac{1}{(1,76 \cdot 10^{-6})^2}.$$

$$fe = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

#### 3.2.1.1.2 Знаходження пропускної здатності пневмолінії вихлопу

Так як пневмолінія нашої системи складається з двох частин трубопровода, що зв'язують між собою всі елементи використовуємої пневмоапаратури, на яких ми і будемо визначати пропускну здатність пневмолінії, і в такому випадку: ефективна площа перетину являє собою приведену величину (рис. 3.1) [13].

Для послідовного з'єднання елементів та ділянок пневмолінії маємо наступне (3.11) [12]:

$$\frac{1}{fev^2} = \frac{1}{fev_{L2}^2} + \frac{1}{fev_R^2} \quad (3.11)$$

Значення пропускної здатності для розподільника, що використовується Festo VUVG-B18-B52-ZT-F-1P3  $Kv_R = 60 \text{ м}^3 / \text{год}$  [12].

$$f_{ev_R} = \frac{K v_R}{5 \cdot 10^4} = \frac{60}{5 \cdot 10^4} = 0,0012 \text{ м}^2$$

Знайдемо  $f_{ev_{L2}}$ , а для цього розрахуємо коефіцієнт сумарних витрат  $\xi_2$ , використовуючи формулу (3.12) [12]:

$$\xi_2 = \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{l_{L2}}{d} \quad (3.12)$$

де  $\lambda = 0,03$  – коефіцієнт тертя повітря;

$d = 0,002 \text{ м}$  – діаметр нашого трубопроводу;

$l_{L2} = 0,2 \text{ м}$  – довжина першої ділянки трубопроводу. [12]

Підставимо відповідні значення і розрахуємо:

$$\xi_2 = \frac{0,03}{2} \cdot \frac{0,2}{0,002} = 1,5$$

За величиною  $\xi_{v_2}$ , використовуючи графік  $\mu = f(\xi)$  (рис. 3.2), знайдемо величину  $\mu_{v_2} = 0,56$  [12].

Потім знайдемо ефективну площу [12]:

$$f_{v_{L2}} = \frac{\pi \cdot d v_{L2}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,002^2}{4} = 3,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$f_{ev_{L2}} = \mu_2 \cdot f_{v_{L2}} = 0,56 \cdot 3,14 \cdot 10^{-6} = 1,76 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Підставимо отримані значення в формулу (3.11), отримаємо [12]:

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         | 34   |

$$\frac{1}{fev^2} = \frac{1}{0,0012} + \frac{1}{1,76 \cdot 10^{-6}}$$

$$fev = 1,76 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

### 3.2.1.2 Врахування об'ємів трубопроводів при динамічному розрахунку

#### 3.2.1.2.1 Врахування об'ємів трубопроводів при динамічному розрахунку напірної пневмолінії [12]

Використаємо розроблений метод врахування розподіленого об'єму трубопроводу шляхом його безпосереднього приведення до зосередженого об'єму. Розрахунковий (приведений) об'єм в такому випадку визначається з виразу (3.13) [12]:

$$V_{PT} = k_v \cdot V_T \quad (3.13)$$

де  $V_T$  – фактичний об'єм трубопровода нашої системи; [12]

$$V_T = \frac{\pi \cdot d_L^2}{4} l_{L2} = \frac{3,14 \cdot 0,002^2}{4} \cdot 0,2 = 0,628 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

Знайдемо  $k_v$  – коефіцієнт приведення розподіленого об'єму до зосередженого [12].

Коефіцієнт  $k_v$  знаходиться за допомогою формули (3.14) [12]:

$$k_v = \frac{fe}{fe'} \quad (3.14)$$

В якій:  $fe$  – ефективна площа перерізу пневмоліній;

$fe'$  – ефективна площа перерізу пневмолінії, але що розрахована з урахуванням половини гідравлічного опору для ділянки трубопроводу системи, для якого і визначається розрахунковий об'єм.

Розрахуємо ефективну площу для ділянки  $l_{L2}$ , за формулою (3.15) [12]:

$$fe'_{L2} = \mu_2 \cdot f'_{L2} \quad (3.15)$$

Знайдемо значення  $\xi'_2$  для половини ділянки  $l_{L2}$  [12]:

$$\xi'_2 = \frac{\lambda \cdot \frac{1}{2} \cdot l_{L2}}{2 \cdot d} = \frac{0,03 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,2}{2 \cdot 0,002} = 0,75$$

За знайденою величиною  $\xi'_2$  використовуючи графік  $\mu = f(\xi)$  (рис. 3.2), знайдемо величину  $\mu'_2 = 0,6$  [12].

Підставивши знайдені значення в (3.15) отримаємо наступне [12]:

$$fe'_{L2} = \mu'_2 \cdot fe_{L2} = 0,6 \cdot 1,76 \cdot 10^{-6} = 1,055 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Щоб знайти  $fe'$  використамо формулу (3.16) [12]:

$$\frac{1}{fe'^2} = \frac{1}{fe_R^2} + \frac{1}{fe_{L1}^2} + \frac{1}{fe_{L2}^2} \quad (3.16)$$

$$fe' = 0,91 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Отримані значення підставимо в (3.14) [12]:

$$k_v = \frac{fe}{fe'} = \frac{1,76 \cdot 10^{-6}}{0,91 \cdot 10^{-6}} = 1,39$$

Далі підставимо  $k_v$  в формулу (3.12) і знайдемо  $V_{PT}$  [12]:

$$V_{PT} = k_v \cdot V_T = 1,39 \cdot 0,628 \cdot 10^{-6} = 0,87 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

3.2.1.2.2 Врахування об'ємів трубопроводів в динамічному розрахунку пневмолінії вихлопу [12]

Розрахунковий об'єм для лінії вихлопу визначимо з виразу (3.17) [12]:

$$V_{PTv} = kv_v \cdot V_{Tv} \quad (3.17)$$

де  $V_{Tv}$  – фактичний об'єм трубопровода нашої системи.

$$V_{Tv} = \frac{\pi \cdot d_L^2}{4} l_{L2} = \frac{3,14 \cdot 0,002^2}{4} \cdot 0,2 = 0,628 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

$kv_v$  – в даному випадку це коефіцієнт приведення розподіленого об'єму до зосередженого [12].

Цей коефіцієнт  $kv_v$  знаходиться по формулі (3.18) [12]:

$$kv_v = \frac{f_{ev}}{f'_{ev}} \quad (3.18)$$

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         | 37   |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

де  $f_{ev}$  – ефективна площа перерізу пневмолінії системи;

$f'_{ev}$  – ефективна площа перерізу тієї самої пневмолінії, але знайдена з урахуванням для половини гідравлічного опору ділянки трубопровода, для якого саме визначається розрахунковий об'єм.

Розрахуємо ефективну площу для ділянки  $l_{L2}$  за формулою (3.19), із якої і визначимо в подальшому розрахунковий об'єм [12]:

$$f_{ev'L2} = \mu'_2 \cdot f_{evL2} \quad (3.19)$$

Знаходимо для половини ділянки  $lv_{L2}$  значення  $\xi'_2$  [12]:

$$\xi'_2 = \frac{\lambda \cdot \frac{1}{2} \cdot lv_{L2}}{2 \cdot d} = \frac{0,03 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,2}{2 \cdot 0,002} = 0,75$$

За величиною  $\xi'_2$  а допомогою графіку  $\mu = f(\xi)$  (рис. 3.2), знайдемо величину  $\mu'_2 = 0,6$  [12].

Підставимо знайдені значення в (3.19) та отримаємо [12]:

$$f_{ev'L2} = \mu'_2 \cdot f_{evL2} = 0,6 \cdot 1,76 \cdot 10^{-6} = 1,055 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Щоб знайти  $f_{ev'}$  скористаємось формулою (3.20) [12]:

$$\frac{1}{f_{ev'}^2} = \frac{1}{f_{ev'L2}^2} + \frac{1}{f_{evR}^2} \quad (3.20)$$

$$fev' = 1,055 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

Знайдені значення підставимо в формулу (3.18) [12]:

$$kv_v = \frac{1,76 \cdot 10^{-6}}{1,055 \cdot 10^{-6}} = 1,67$$

На наступному етапі підставимо  $kv_v$  в формулу (3.17) і знайдемо  $V_{PTv}$  [12]:

$$V_{PTv} = 1,67 \cdot 0,628 \cdot 10^{-6} = 1,047 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

### 3.2.1.3 Визначення часу підготовчого періоду циклу

Час  $t_n$  тп підготовчого періоду знаходиться а допомогою формули (3.21) [12]:

$$t_n = t_1 + t_2 + t_3 \quad (3.21)$$

де  $t_1$  – час переключення розподільника (це значення приводиться в технічній характеристиці самого розподільника),  $t_1 = 0,063$  с;

$t_2$  – час розповсюдження тиску в трубопроводах системи, що пов’язує порожнину пневмоциліндра з порожниною розподільника, і визначається згідно формули (3.22) [12]:

$$t_2 = \frac{l_{L2}}{a} \quad (3.22)$$

де  $l_{L2}$  – довжина трубопроводу;

$a$  – швидкість звуку в необхідному середовищі, що визначається як функція абсолютної температури повітря, а саме  $a \approx 20\sqrt{T}$ , яку можна прийняти як рівну середній температурі навколишнього середовища, а це приблизно  $T = 290...293^\circ K$ .

$t_3$  – час зміни тисків в порожнинах пневмоциліндра в момент початку руху поршня.

Підставивши значення в (3.22) і отримаємо [12]:

$$t_2 = \frac{l_{L2}}{a} = \frac{l_{L2}}{20\sqrt{T}} = \frac{0,2}{20\sqrt{293}} = 0,000584c$$

Складову  $t_3$  можна визначити лише часом наповнення робочої порожнини до значення тиску руху  $\sigma_\epsilon$ , при досягненні якому поршень починає рухатись з місця [13].

Час наповнення робочої порожнини циліндра визначимо з виразу (3.23) [12]:

$$t_{nan} = 3.62 \cdot 10^{-3} \frac{V_{pmin}}{f_e} [\psi_1(\sigma_p) - \psi_1(\sigma_a)] \quad (3.23)$$

де  $V_{pmin}$  – мінімальний об'єм робочої порожнини;

$$V_{pmin} = V_0 + V_{pT} = 6,28 \cdot 10^{-8} + 0,87 \cdot 10^{-6} = 9.328 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$$

Далі розрахуємо значення  $f_e$  – ефективної площі прохідного перерізу лінії підводу,  $f_e = 1,76 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ ;

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         | 40   |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |



$\sigma = \frac{p}{p_m}$  – безрозмірний тиск в робочій порожнині пневмоциліндру, що

виражається в відношенні поточного тиску в цій же порожнині до тиску живлення;

$\sigma_a = \frac{p_a}{p_m}$  – це безрозмірний тиск, який відповідає початку наповнення,

$$\sigma_a = \frac{p_a}{p_m} = \frac{0,15 \cdot 10^6}{0,3 \cdot 10^6} = 0,5$$

$\psi_1(\sigma_p)$ ,  $\psi_2(\sigma_a)$  – функції тиску, які визначаються згідно з графіком на рис. 3.3 [12].

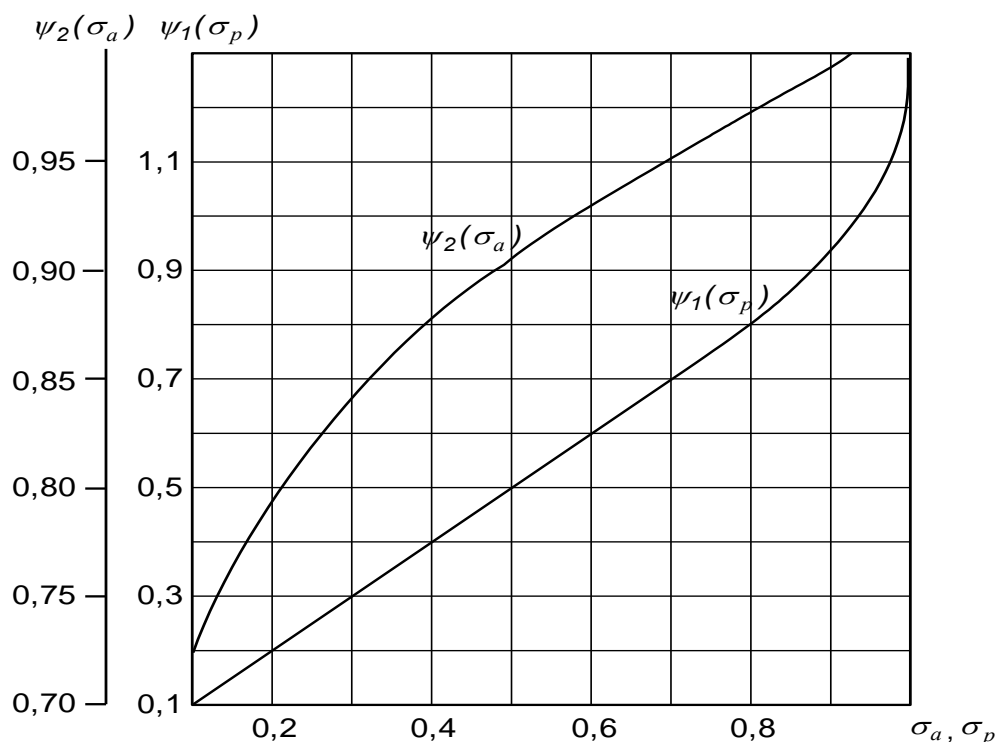


Рисунок 3.3 Графік функцій тиску [12]

Час спорожнення порожнини вихлопу циліндра від значення початкового тиску  $p_{впоч} = p_m$  до значення тиску руху  $p_{вр}$  у момент початку руху поршня розраховується згідно залежності (3.24) [12]:

$$t_{on} = 2.53 \cdot 10^{-2} \frac{V_{ps}}{f_{ve} \cdot \sigma_a^{\frac{2k}{k-1}}} [\psi_2(\sigma_{вр}) - \psi_2(\sigma_a)] \quad (3.24)$$

Тут  $V_{ps} = V_{psmin} + F_s \cdot s$  – розрахунковий об’єм порожнини вихлопу циліндра [12],

$$\begin{aligned} V_{ps} &= (V_0 + V_{pTB}) + F_s \cdot s = (4,0192 \cdot 10^{-8} + 1,047 \cdot 10^{-6}) + 5,024 \cdot 10^{-5} \cdot 0,08 \\ &= 5,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \end{aligned}$$

$\sigma_1 = \frac{p_a}{p_s}$  – безрозмірний тиск у порожнині вихлопу циліндра, що виражає відношення атмосферного тиску  $p_a$  до значення поточного тиску у цій же порожнині;

$\sigma_a = \sigma_{sa} = \frac{p_a}{p_m}$  – безрозмірний тиск у порожнині вихлопу при початку спорожнення,

$$\sigma_a = \sigma_{sa} = \frac{0,15 \cdot 10^6}{0,3 \cdot 10^6} = 0,5;$$

$\psi_2(\sigma_{вр})$ ,  $\psi_2(\sigma_a)$  – функції тиску в порожнині тиску, які визначається згідно з графіком, що зображений на рис. 3.3 [12].

$k$  – показник адіабати, в даному випадку  $k = 1,4$ .

Необхідні для розрахунку тиски руху визначимо з рівняння рівноваги сил, що діють на поршень при початку руху (3.25) [12]:

$$p_{\epsilon} \cdot F - p_{\epsilon p} \cdot F_{\epsilon} - P = 0 \quad (3.25)$$

В рівняння входить сила  $P$  опору руху, що знаходиться за формулою (3.26) [12]:

$$P = P_1 + P_2 \pm mg + p_a(F - F_{\epsilon}) \quad (3.26)$$

Також включає в себе силу тертя  $P_1$ , корисне навантаження  $P_2$  і значення масової сили  $mg$ , яке буде враховуватися при горизонтальному розташуванні циліндра, а також враховує поправку  $p_a(F - F_{\epsilon})$ .

Значення  $P_1$  знайдемо використовуючи формулу (3.27) [12]:

$$P_1 = k_T \cdot (m_1 + m_2) \cdot g \quad (3.27)$$

де  $k_T$  – коефіцієнт тертя,  $k_T = 0,1$ ;

$m_1$  – маса рухомих частин циліндра (окрім вантажу, що переміщається), в нашому випадку  $m_1 = 0,05 \text{ кг}$ ;

$m_2$  – маса вантажу, що переміщається циліндром,  $m_2 = 0 \text{ кг}$ .

Підставивши всі значення в (3.27), отримаємо наступне:

$$P_1 = 0,1 \cdot (0,05 + 0) \cdot 9,81 = 0,05 \text{ Н}.$$

Знайдемо силу  $P$ , підставивши всі значення в (3.26) [12]:

$$P = 0,05 + 10 + 0,15 \cdot 10^6 \cdot (7,85 \cdot 10^{-5} - 5,024 \cdot 10^{-5}) = 14,3 \text{ Н}$$

Так як в рівнянні (3.25) два невідомих, воно має певну множину рішень, з яких тільки одне вірне. Для знаходження цього вірного рішення використовується метод підбору [12].

Присвоїмо значенню  $p_p = p_m = 0,6 \text{ МПа}$  і згідно з рівнянням (3.25) знаходимо відповідне значення  $p_{вр}$  [12]:

$$p_{вр} = \frac{p_p \cdot F - P}{F_\epsilon}$$

$$p_{вр} = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 7,85 \cdot 10^{-5} - 14,3}{5,024 \cdot 10^{-5}} = 0,18 \text{ МПа}$$

Знайдемо:

$$\sigma_p = \frac{p_p}{p_m} = \frac{0,3 \cdot 10^6}{0,3 \cdot 10^6} = 1.$$

Знайдемо значення функцій  $\psi_1(\sigma_p = 1) = 1,27$ ,  $\psi_1(\sigma_a = 0,5) = 0,91$  згідно з графіком на рис. 3.3 [12].

Визначимо за формулою (3.23)  $t_{нап}$  [12]:

$$t_{нап} = 3,62 \cdot 10^{-3} \frac{(6,28 \cdot 10^{-8} + 0,87 \cdot 10^{-6})}{1,76 \cdot 10^{-6}} (1,27 - 0,91) = 0,00069 \text{ с}$$

Розрахуємо значення функцій за допомогою графіку на рис. 3.3 [12].

$$\psi_2(\sigma_{вр}) = 0,98, \psi_2(\sigma_a) = 0,91.$$

Визначаємо за допомогою формули (3.24) час  $t_{on}$  [12]:

$$t_{on} = 2,53 \cdot 10^{-2} \frac{5,1 \cdot 10^{-6}}{1,76 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5^{\frac{1,4-1}{2 \cdot 1,4}}} [0,98 - 0,91] = 0,0057 c$$

Оскільки  $t_{нап} \leq t_{on}$ , то це означає, що підбір правильний [12].

Підставимо отримане значення в (3.21) і отримаємо час  $t_n$  підготовчого періоду [12]:

$$t_{n.п.х.} = t_1 + t_2 + t_3 = 0,063 + 0,000584 + 0,00069 = 0,064 c$$

$$t_{n.з.х.} = t_1 + t_2 + t_3 = 0,063 + 0,000584 + 0,0057 = 0,069 c$$

#### 3.2.1.4 Знаходження часу руху

Рух поршня пневмоциліндру двосторонньої дії можна описати за допомогою системи диференціальних рівнянь, в яку включені рівняння руху поршня як твердого тіла, а також два різних рівняння енергетичного балансу, які характеризують зміни тисків в кожній порожнині циліндру (3.28) [12]:

$$\begin{aligned} \frac{d^2x}{dt^2} &= \frac{1}{m} (pF - p_e F_e - P); \\ \frac{dp}{dt} &= \frac{k}{x + x_0} \left[ \frac{f_e \cdot K \cdot \rho_m \sqrt{RT_m} \cdot \phi(\sigma)}{F} - p \cdot \frac{dx}{dt} \right]; \\ \frac{dp_e}{dt} &= \frac{k}{s + x_{0e} - x} \left[ p_e \cdot \frac{dx}{dt} - \frac{f_{e\epsilon} \cdot K \cdot p_e^{\frac{3k-1}{2k}} \sqrt{RT_m} \cdot \phi(\sigma_e)}{F_e \cdot p_m^{\frac{k-1}{2k}}} \right] \end{aligned} \quad (3.28)$$

де  $k=1,4$  – це показник адіабати;

$K = \sqrt{\frac{2k}{k-1}}$  – коефіцієнт;

$R$  – газова постійна (для сухого повітря дорівнює  $R = 287 \text{ Дж / кг град}$ );

$T_m$  – температура повітря в магістралі

$\phi(\sigma)$ ,  $\phi(\sigma_\epsilon)$  – функції витрати, що визначаються за формулою (3.29)

[12]:

$$\phi(\sigma) = \sqrt{\sigma^{\frac{2}{k}} - \sigma^{\frac{k+1}{k}}} \quad (3.29)$$

У загальному вигляді система рівнянь (3.28) рішення в даному випадку не має. Її можна вирішити лише шляхом числового інтегрування. [12]

Початковими параметрами при інтегруванні в даному випадку є [12]:

$$x_n = 0; \quad \left(\frac{dx}{dt}\right)_n = \dot{x}_n = 0; \quad \left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)_n = \ddot{x}_n = 0; \quad p_n = p_p; \quad \sigma_n = \frac{p_p}{p_m} = \sigma_p; \quad p_{en} = p_{ep};$$

$$\sigma_{en} = \frac{p_a}{p_{ep}} = \sigma_{ep}.$$

Інтегрування проводиться до тих пір, доки не буде отримано числове значення кінцевої координати положення поршня  $x_{kin} \geq s$  [12].

Система рівнянь (3.28) після здійсненого переходу від дійсних величин до величин безрозмірних прийме наступний вигляд (3.30) [12]:

$$\begin{aligned} \ddot{\xi} &= \frac{1}{N^2} \left( \sigma - \frac{\sigma_a}{\alpha \cdot \sigma_\epsilon} - \chi \right) \\ \frac{d\sigma}{d\tau} &= \frac{k}{\xi_0 + \xi} \left[ \phi(\sigma) - \sigma \cdot \dot{\xi} \right] \\ \frac{d\sigma_\epsilon}{d\tau} &= \frac{k}{\xi_{0\epsilon} + 1 - \xi} \left[ \alpha \cdot \omega \cdot \sigma_a^{\frac{k-1}{2k}} \cdot \sigma_\epsilon^{\frac{k+1}{2k}} \cdot \phi(\sigma_\epsilon) - \sigma_\epsilon \cdot \dot{\xi} \right] \end{aligned} \quad (3.30)$$

Де  $\ddot{\xi}$  – це прискорення поршня;

$N$  – конструктивний параметр, що розраховується наступним чином:

$$N = 352 \frac{f_e}{D^3} \sqrt{\frac{mg}{p_m \cdot s}} = 352 \frac{1,76 \cdot 10^{-6}}{0,01^3} \sqrt{\frac{0,05 \cdot 9,81}{0,3 \cdot 10^6 \cdot 0,08}} = 2,8$$

Тиск в робочій порожнині приводу дорівнює:  $\sigma = \frac{p}{p_m}$ ;

Відношення площ поршня в двох порожнинах циліндра:  $\alpha = \frac{F}{F_6}$ ;

$$\alpha = \frac{7.85 \cdot 10^{-5}}{5,024 \cdot 10^{-5}} = 1,5625$$

Тиск в порожнині вихлопу  $\sigma = \frac{p_a}{p_v}$ ;

Безрозмірне навантаження на пневмопривод:  $\chi = \frac{P}{p_m \cdot F} = 0,55$ .

Початкові параметри якщо використовувати числове інтегрування [12]:

$$\xi_n = 0; \dot{\xi}_n = 0; \ddot{\xi}_n = 0; \sigma_n = \sigma_p; \sigma_{en} = \sigma_{ep}.$$

Тоді динамічне рівняння для прямого ходу приводу матиме такий вигляд (3.31) [12]:

$$\sigma_p - \frac{\sigma_a}{\alpha \cdot \sigma_{ep}} - \chi = 0. \quad (3.31)$$

В (3.30) приймемо  $\sigma_p = 1$ , тоді:

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         | 47   |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

$$\sigma_{\text{вр}} = \frac{\sigma_a}{\alpha \cdot (1 - \chi)} = \frac{0,5}{1,5625 \cdot (1 - 0,55)} = 0,71$$

Сума інтегралів в даному випадку безрозмірного часу на всіх етапах числового інтегрування в межах змінної  $\xi$  від 0 до 1 дає безрозмірний час руху поршня циліндра  $\tau_s$ , що переводиться у дійсний час згідно з формулою (3.32) [12]:

$$t_p = 1.03 \cdot 10^{-3} \frac{s D^2}{f_e} \tau_s. \quad (3.32)$$

При спрощеному методі знаходження часу руху поршня спочатку визначимо як рухається поршень циліндра, рівноприскорено або ж рівномірно [12].

Прихильність при цьому приводу до рівноприскореного або ж рівномірного руху та можливість використання значення для розрахунку часу руху спрощених формул можна оцінити по величині конструктивного параметру  $N$ , який порівнюється зі значенням  $N^*$ , яке отримано з виразу (3.33) [12]

$$N^* = \frac{1}{\dot{\xi}_y} \sqrt{\frac{1 - \frac{\sigma_a}{\alpha} - \chi}{2}} \quad (3.33)$$

Значення  $\dot{\xi}_y$  візьмемо з додатку 2 [14], де для  $\chi = 0,55$  і  $\sigma = 0,5$  при співвідношенні знайдемо що  $\dot{\xi}_y = 0,17$ ;  $\sigma_y = 0,91$ .

$$N^* = \frac{1}{\dot{\xi}} \sqrt{\frac{1 - \frac{\sigma_a}{\alpha} - \chi}{2}} = 1,5$$



Отримали, що  $N > N^*$ , а отже поршень рухається рівноприскорено.

Рівноприскорений рух має місце для значної масі рухомих частин приводу або великій перепускній здатності ліній підводу системи та вихлопу. Через інерційність всіх рухомих частин системи їх розгін відбувається відносно повільно та триває протягом всього руху поршня. На поршні при цьому встановлюється максимальний перепад тисків, через те, що процеси наповнення і спорожнення порожнин пневмоциліндру протікають швидше, аніж зміна їх об'єму. Тому для руху поршня в робочій порожнині підтримується тиск  $p_m$ , а в порожнині вихлопу циліндра –  $p_a$ . При таких умовах рівняння, які характеризують зміну тисків, не мають сенсу і при динамічному розрахунку можна розглядати лише рівняння руху поршня пневмоциліндра, у якому  $\sigma = 1$  та  $\sigma_s = 1$  [14];

$$\ddot{\xi} = \frac{1}{N^2} \left( 1 - \frac{\sigma_a}{\alpha} - \chi \right).$$

Після виконання подвійного інтегрування (постійні інтегрування при цьому знаходяться при початкових умовах, або інакше кажучи при  $\tau = 0, \dot{\xi} = 0, \xi = 0$ ) знаходимо [14]:

$$\xi = \frac{1}{N^2} \left( 1 - \frac{\sigma_a}{\alpha} - \chi \right) \cdot \frac{\tau^2}{2}.$$

Безрозмірний час для повного руху поршня  $\tau_s$  знаходиться при  $\xi = 1$  [14]:

$$\tau_s = N \sqrt{\frac{2}{1 - \frac{\sigma_a}{\alpha} - \chi}} = 11$$

Тоді:

$$t_p = 1,03 \cdot 10^{-3} \frac{s \cdot D^2}{f_e} \tau_s = 1,03 \cdot 10^{-3} \frac{0,08 \cdot 0,01^2}{1,26 \cdot 10^{-6}} \cdot 11 = 0.072 \text{ с}$$

### 3.2.1.5 Визначення часу заключного періоду руху поршня

Час заключного періоду руху поршня можна визначити тривалістю тисків в порожнинах циліндру після повної зупинки поршня вкінці руху, тобто тривалістю процесів поступового наповнення і спорожнення робочої порожнини і вихлопної порожнини, в яких мають встановитися стабільні тиски – магістральний в робочій порожнині і атмосферний в порожнині вихлопу. Для визначення часу для цих процесів використовуються залежності (3.23) і (3.25) з урахуванням умов, що змінилися. Робоча порожнина пневмоприводу з розрахунковим об'ємом наповнюється при тиску  $p_k$  у момент повної зупинки поршню наприкінці руху до значення тиску  $p_m$  [11].

$$V_p = V_{pmin} + F \cdot s = 6,28 \cdot 10^{-8} + 0,87 \cdot 10^{-6} + 7.85 \cdot 10^{-5} \cdot 0,08 \\ = 7,21 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

Їм відповідають відповідні безрозмірні значення  $\sigma_k = \frac{p_k}{p_m}$  і  $\sigma = \frac{p_m}{p_m} = 1$  [12]

Розрахунковий об'єм порожнини вихлопу в такому випадку:

$$V_{pv} = V_{pvmin} = 4,0192 \cdot 10^{-8} + 1,047 \cdot 10^{-6} = 1,09 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

а діапазон зміни тиску – від  $p_{вк}$  до  $p_a$ , або від  $\sigma_{вк} = \frac{p_a}{p_{вк}}$  до  $\sigma_{в} = \frac{p_a}{p_{в}} = 1$  при

безрозмірних величинах [12].

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         | 50   |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

Розрахуємо час наповнення робочої порожнини приводу [14]:

$$t_{\text{нап}} = 3,62 \cdot 10^{-3} \frac{V_p}{f_e} [\psi_1(\sigma_m) - \psi_1(\sigma_k)].$$

$$\sigma_k = 1;$$

$$\sigma_{pK} = 0,5.$$

Знайдемо значення функції за графіком на рис. 3.3 [14].

$$\psi_1(\sigma_m = 1) = 1,27, \psi_1(\sigma_k = 0,5) = 0,5.$$

$$t_{\text{нап}} = 3,62 \cdot 10^{-3} \frac{7,21 \cdot 10^{-6}}{1,26 \cdot 10^{-6}} (1,27 - 0,5) = 0,01596 \text{ с}$$

Визначимо час випорожнення порожнини вихлопу [14]:

$$t_{\text{он}} = 2,53 \cdot 10^{-2} \frac{V_{pe}}{f_{ve} \cdot \sigma_a^{\frac{k-1}{2k}}} [\psi_2(\sigma_e) - \psi_2(\sigma_{ey})].$$

$$\sigma_{BY} = 0,505$$

$$\sigma_B = 1$$

Розрахуємо значення функції згідно графіку на рис. 3.3 [14].

$$\psi_2(\sigma_{BY} = 0,505) = 0,93, \psi_2(\sigma_B = 1) = 1,16.$$

$$t_{\text{он}} = 2,53 \cdot 10^{-2} \frac{1,09 \cdot 10^{-6}}{1,76 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5^{\frac{1,4-1}{2 \cdot 1,4}}} [1,16 - 0,93] = 0,004 \text{ с}$$

### 3.2.1.6 Визначення часу прямого ходу

Розрахуємо час прямого ходу за формулою (3.34) [12]:

$$t_{nx} = t_n + t_p + t_{zak}, \quad (3.34)$$

Підставимо знайдені значення у формулу (3.34) і отримаємо [12]:

$$t_{пх} = 0,064 + 0.072 + 0,01596 = 0.15c$$

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ</i> | Лист |
|      |      |          |        |      |                                | 52   |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                                |      |

## РОЗДІЛ 4. СИСТЕМА КЕРУВАННЯ

### 4.1 Принцип роботи поворотної секції мобільного пристрою

Для забезпечення надійної та безперебійної діагностики трубопроводу необхідно передбачити можливість плавного та швидкого проходження пристрою через ділянки з різноманітними конфігураціями. Послідовність проходження поворотів наступна. Необхідність здійснення самого повороту (напрямок, кут, відстань чи кількість кроків) задається програмно перед початком роботи, або дистанційно, що передбачено модулем дистанційного керування. Перша секція з'єднується з наступною за допомогою п'яти пневмоциліндрів, кожний з яких керований за допомогою окремого розподільника. Коли пристрій підходить до ділянки, де необхідно здійснити поворот, розподільники спрацьовують таким чином, що висуваються штоки тільки тих циліндрів, які забезпечують нахил першої секції в потрібному напрямку, який залежить від напрямку повороту трубопроводу. Внаслідок цього, перша секція нахиляється у потрібну сторону і, після переміщення відносно другої секції, притискається затискними пристроями до трубопроводу. Після цього до першої секції підтягуються усі інші і рух продовжується звичайним чином. [15]

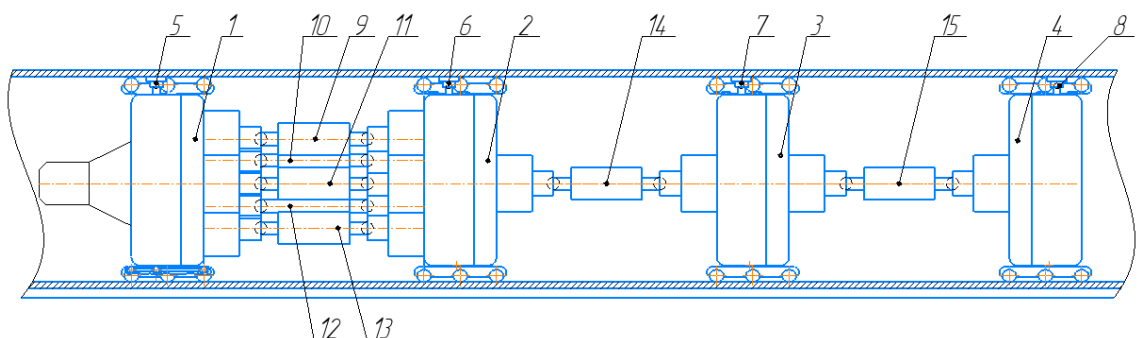


Рис. 4.1 Принципова схема розроблюваного механізму.

Проаналізувавши схему (Рис. 4.1) складемо цикл виконання повороту пристрою. Для початку розглянемо поворот вертикально вгору.

$$\bar{5} - 1,9',10',11',12',13' - \bar{1} - 5 - \bar{9},\bar{10},\bar{11},\bar{12},\bar{13}$$

Згідно цієї послідовності, розпочинається робота з того, що затискні пристрої 5 втягуються, і більше не фіксують положення секції відносно всього пристрою і газопроводу. Далі спрацьовує поворотний привод 1, закриваючи дросельну заслінку, внаслідок чого на відповідній секції зростає аеродинамічний опір. Перемикаються розподільники для циліндрів 9-13, і за рахунок зміни тисків циліндри починають висуватися. Так як нам необхідність повернути секцію 1, то необхідно щоб поршньові порожнини циліндрів 9-13 були наповнені по-різному. Це досягається за рахунок того, що розподільники відповідних циліндрів повертаються у початкове положення у різний час, відповідно схеми, спочатку 9, далі 10, за ним 11, 12, і, останнім, 13. Після цього поворотний привод 1 відкриває дросельну заслінку, і затискні пристрої 5 фіксують положення секції. В кінці циклу, за рахунок руху іншої секції, штоки циліндрів 9-13 втягуються, підтягуючи другу секцію до першої.

Додаємо до циклу необхідний елемент пам'яті 16, послідовність виглядатиме наступним чином:

$$16 - 5 - 1,9',10',11',12',13' - \bar{16} - \bar{1} - \bar{5} - \bar{9},\bar{10},\bar{11},\bar{12},\bar{13}$$

Функціональний граф (Рис 4.2) виглядатиме наступним чином:

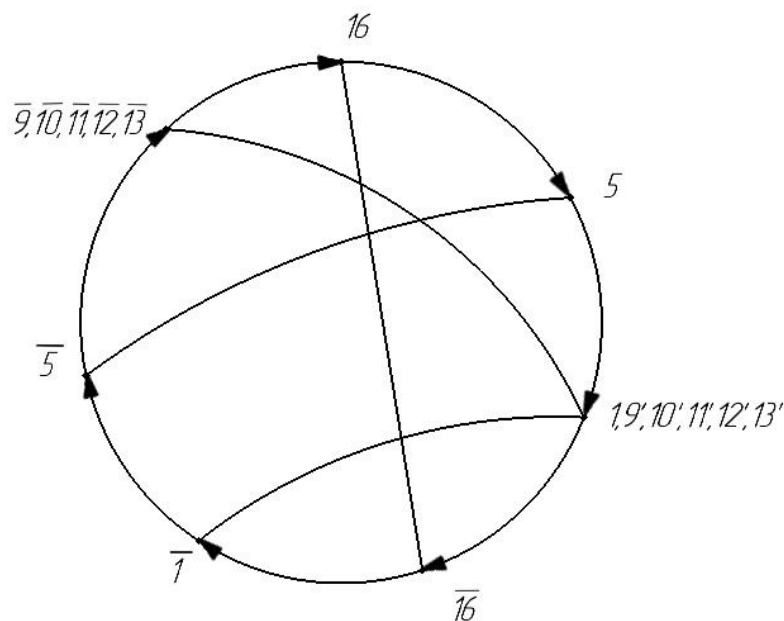


Рисунок 4.2 Результуючий функціональний граф

Функціональний граф необхідний для більш наочного відображення послідовності спрацювання приводів. Відповідно до функціонального графа складемо базові рівняння команд керування. Команди керування являють собою формульне представлення інформації про відповідний набір сигналів, необхідний для спрацювання всіх керуємих елементів системи, таких як приводи, елементи пам'яті, таймери, тощо. В подальшому, наявність складених команд значно полегшує процес програмування контролера. На початковому етапі нехтуємо дією таймерів, і прийнемо що позиціонування відбувається за допомогою датчиків положення. Команди матимуть наступний вигляд:

$$Y_1 = X_5 * X_{16}$$

$$Y_{\overline{1}} = X_{\overline{16}}$$

$$Y_5 = X_{16}$$

$$Y_{\overline{5}} = X_{\overline{1}} * X_{\overline{16}}$$

$$Y_9 = X_5 * X_{16}$$

$$Y_{\overline{9}} = X_{\overline{5}}$$

$$Y_{10} = X_5 * X_{16}$$

$$Y_{\overline{10}} = X_{\overline{5}}$$

$$Y_{11} = X_5 * X_{16}$$

$$Y_{\overline{11}} = X_{\overline{5}}$$

$$Y_{12} = X_5 * X_{16}$$

$$Y_{\overline{12}} = X_{\overline{5}}$$

$$Y_{13} = X_5 * X_{16}$$

$$Y_{\overline{13}} = X_{\overline{5}}$$

$$X_{16} = X_{ST} * X_{\overline{9}} * X_{\overline{10}} * X_{\overline{11}} * X_{\overline{12}} * X_{\overline{13}}$$

$$X_{16} = X_1 * X_9 * X_{10} * X_{11} * X_{12} * X_{13}$$

Перевіримо правильність складених рівнянь за допомогою середовища МАС (Рис. 4.3). Після перевірки робимо висновок що рівняння складені вірно,

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ</i> | Лист |
|      |      |          |        |      |                                |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                                | 55   |

система функціонує. На наступному етапі необхідно врахувати той момент, що в системі не використовуються позиційні датчики, тому спрощені команди керування не задовольняють умови технічного завдання. Замість позиційних датчиків використовуємо контроль за часом. Керує контролем за часом – мікроконтролер. Така система дозволяє значно скоротити кількість споживаної енергії та трохи зменшити габаритні розміри і вагу мобільного приладу. Тому модернізуємо команди керування. Для цього врахуємо вплив таймерів на кожному етапі.

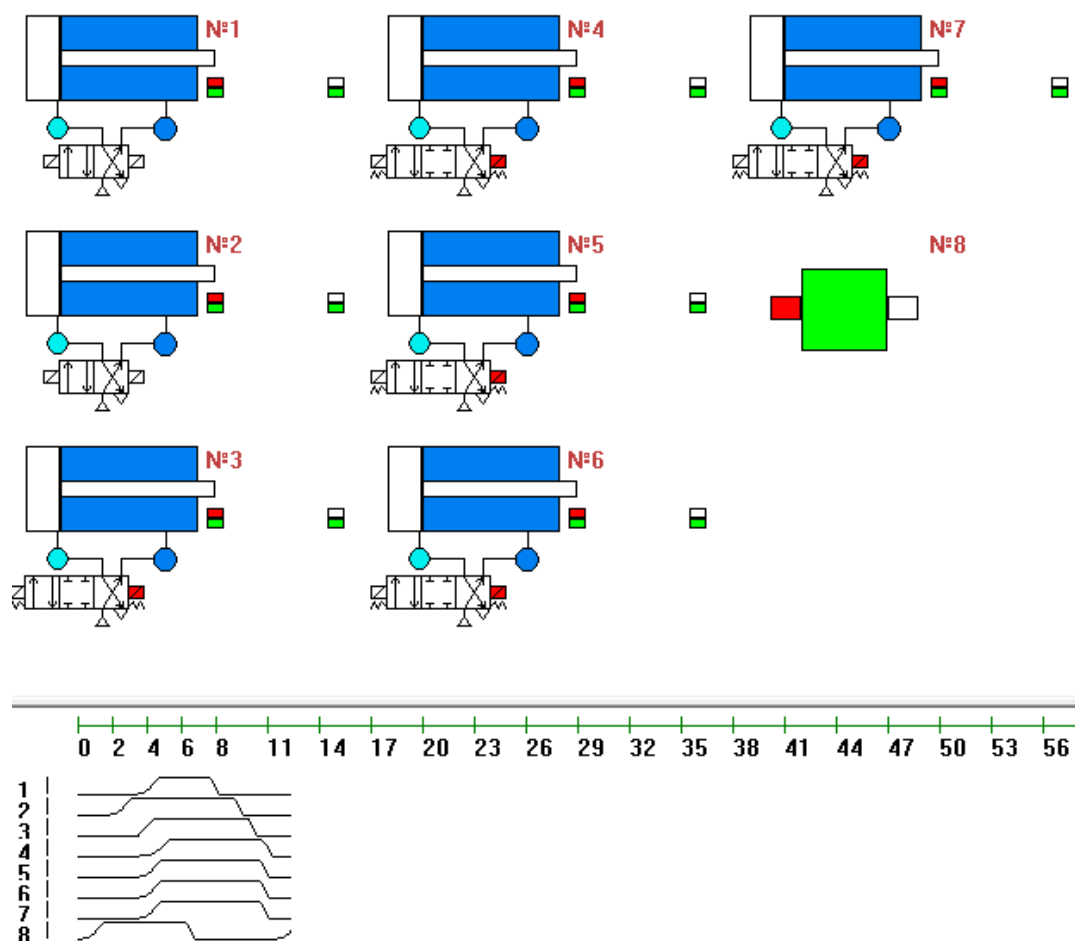


Рисунок 4.3 Результат перевірки у середовищі МАС

Команди керування приводами, що враховують позиціонування за часом матимуть наступний вигляд:



$$Y_1 = t_5 * X_{16}$$

$$Y_{\overline{1}} = X_{\overline{16}}$$

$$Y_5 = X_{16}$$

$$Y_{\overline{5}} = t_{\overline{1}} * X_{\overline{16}}$$

$$Y_9 = t_5 * X_{16} * \overline{t_9}$$

$$Y_{\overline{9}} = t_{\overline{5}}$$

$$Y_{10} = t_5 * X_{16} * \overline{t_{10}}$$

$$Y_{\overline{10}} = t_{\overline{5}}$$

$$Y_{11} = t_5 * X_{16} * \overline{t_{11}}$$

$$Y_{\overline{11}} = t_{\overline{5}}$$

$$Y_{12} = t_5 * X_{16} * \overline{t_{12}}$$

$$Y_{\overline{12}} = t_{\overline{5}}$$

$$Y_{13} = t_5 * X_{16} * \overline{t_{13}}$$

$$Y_{\overline{13}} = t_{\overline{5}}$$

$$X_{16} = X_{ST} * t_{\overline{9}} * t_{\overline{10}} * t_{\overline{11}} * t_{\overline{12}} * t_{\overline{13}}$$

$$X_{16} = t_1 * t_9 * t_{10} * t_{11} * t_{12} * t_{13}$$

Оскільки ми не можемо нехтувати зворотнім ходом приводів, то враховуємо дію таймерів для кожного такту. Рівняння, що керують таймерами виглядатимуть наступним чином:

$$t_1 = t_5 * X_{16}$$

$$t_{\overline{1}} = X_{\overline{16}}$$

$$t_5 = X_{16}$$

$$t_{\overline{5}} = t_{\overline{1}} * X_{\overline{16}}$$

$$t_9 = t_5 * X_{16}$$

$$t_{\overline{9}} = t_{\overline{5}}$$

$$t_{10} = t_5 * X_{16}$$

$$t_{\overline{10}} = t_{\overline{5}}$$

$$t_{11} = t_5 * X_{16}$$

$$t_{\overline{11}} = t_{\overline{5}}$$

$$t_{12} = t_5 * X_{16}$$

$$t_{\overline{12}} = t_{\overline{5}}$$

$$t_{13} = t_5 * X_{16}$$

$$t_{\overline{13}} = t_{\overline{5}}$$

Такі команди керування зможуть забезпечити стабільну роботу модульного пристрою під час повороту вгору. Для повороту в будь-який інший напрямок діють такі самі команди керування. Тому вони є універсальними. Регулювати кут повороту ми можемо за рахунок зміни заданого часу в  $t_9$ ,  $t_{10}$ ,  $t_{11}$ ,  $t_{12}$ ,  $t_{13}$ . Для повороту вниз розподільники відповідних циліндрів повертаються у середнє положення відповідно схеми (Рис. 4.1), спочатку 13, далі 12, за ним 11, 10, і, останнім, 9. Для реалізації повороту вправо першими спрацьовують розподільники 10 і 12 циліндрів одночасно, за ними розподільники 9 і 13 циліндрів, і останнім є 11 циліндр. При повороті вліво найменший час встановлений на таймері що керує 11 розподільником, далі одночасно 9 і 13 розподільником, і останніми зупиняються 10 і 12 циліндри.

Враховуючи все вищезазначене, складемо послідовність керування всього пристрою при повороті вгору. Цикл роботи при цьому буде наступним:

$$5 - 1,9',10',11',12',13' - \overline{1} - \overline{5} - 6 - 2,14,\overline{9},\overline{10},\overline{11},\overline{12},\overline{13} - \overline{2} - \overline{6} - 7 \\ - 3,\overline{14},15 - \overline{3} - \overline{7} - 8 - 4,\overline{15} - \overline{4} - \overline{8}$$

Робота мобільного пристрою може відбуватися різними способами. Вищезазначений цикл є базовим і найуніверсальнішим. Після здійснення повороту, принцип якого було описано у попередній частині даного розділу, до першої секції підтягуються по черзі всі інші. Механізм переміщення кожної секції майже ідентичний з циклом повороту, але з врахуванням того, що наступні

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         | 58   |

секції з'єднає лише один пневматичний циліндр, а не п'ять. Розглянемо послідовність для п'ятої секції. Притискні пристрої 6 втягуються, наступним спрацьовує поворотний привод 6, і одночасно з цим секція починає рухатися за рахунок того що циліндр 14 висувається, а циліндри 9-13 засуваються. Далі всі ці приводи по черзі повертаються у вихідне положення.[15]

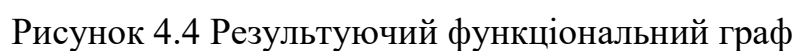
Розглянемо також альтернативний цикл роботи пристрою. Послідовність розпочинається з переміщення 1-ї та 3-ї секції одночасно. Притискні пристрої 5 і 7 повертаються у втягнуте положення, перемикаються поворотні пристрої 1 і 3. Далі секції переміщуються, відповідно висуваються циліндри 9-13 і 15. За цим поворотні пристрої 1 і 3 повертаються у початкове положення, а притискні циліндри 5 і 7 фіксують відповідні секції. Після цього цикл повторюється для секцій 2 і 4. Притискні пристрої 6 і 8 втягуються, перемикаються поворотні пристрої 2 і 4. Далі секції переміщуються, відповідно висуваються циліндри 14 і 16. За цим поворотні пристрої 1 і 3 повертаються у початкове положення, а притискні циліндри 6 і 8 фіксують відповідні секції. Такий цикл роботи вдвічі скорочує час роботи. Після того як секція зайняла крайню позицію, відбувається повернення циліндра 4 в початкове положення, після чого відбувається фіксація третьої секції за допомогою циліндра 1. Аналогічним чином відбувається послідовне пересування секцій і рух пристрою.

Додаємо елементи пам'яті 16, 17 для базового циклу. Він виглядатиме наступним чином:

$$5 - 1, 9', 10', 11', 12', 13' - 16 - \bar{1} - \bar{5} - 6 - 2, 14, \bar{9}, \bar{10}, \bar{11}, \bar{12}, \bar{13} - 17 - \bar{2} - \bar{6} \\ - 7 - 3, \bar{14}, 15 - \bar{16} - \bar{3} - \bar{7} - 8 - 4, \bar{15} - \bar{17} - \bar{4} - \bar{8}$$

Функціональний граф для базової послідовності виглядатиме наступним чином:

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         | 59   |


$$Y_{\overline{4}} = X_{\overline{17}}$$

$$Y_5 = X_{\overline{8}} * X_{\overline{17}} * X_{st} * X_{\overline{16}}$$

$$Y_{\overline{5}} = X_{\overline{1}} * X_{16}$$

$$Y_6 = X_{\overline{5}} * X_{16} * X_{\overline{17}}$$

$$Y_{\overline{6}} = X_{\overline{2}} * X_{17}$$

$$Y_7 = X_{\overline{6}} * X_{16} * X_{17}$$

$$Y_{\overline{7}} = X_{\overline{3}} * X_{\overline{16}}$$

$$Y_8 = X_{\overline{7}} * X_{\overline{16}} * X_{17}$$

$$Y_{\overline{8}} = X_{\overline{4}} * X_{\overline{17}}$$

$$Y_9 = X_5 * X_{\overline{16}}$$

$$Y_{\overline{9}} = X_6 * X_{\overline{17}}$$

$$Y_{10} = X_5 * X_{\overline{16}}$$

$$Y_{\overline{10}} = X_6 * X_{\overline{17}}$$

$$Y_{11} = X_5 * X_{\overline{16}}$$

$$Y_{\overline{11}} = X_6 * X_{\overline{17}}$$

$$Y_{12} = X_5 * X_{\overline{16}}$$

$$Y_{\overline{12}} = X_6 * X_{\overline{17}}$$

$$Y_{13} = X_5 * X_{\overline{16}}$$

$$Y_{\overline{13}} = X_6 * X_{\overline{17}}$$

$$Y_{14} = X_6 * X_{16}$$

$$Y_{\overline{14}} = X_7 * X_{\overline{16}}$$

$$Y_{15} = X_7 * X_{16}$$

$$Y_{\overline{15}} = X_{\overline{7}} * X_8 * X_{17} * X_{16}$$

$$X_{16} = X_1 * X_9 * X_{10} * X_{11} * X_{12} * X_{13}$$

$$Y_{\overline{16}} = X_{\overline{14}} * X_{15} * X_3$$

$$X_{17} = X_2 * X_{14} * X_9 * X_{\overline{10}} * X_{\overline{11}} * X_{\overline{12}} * X_{\overline{13}}$$

$$X_{\overline{17}} = X_4 * X_{15}$$

Оскільки для керування реальним пристроєм таких команд не достатньо, доповнимо їх сигналами, що контролюватимуть часом спрацювання приводів.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         | 61   |

Команди в саме такому вигляді ми будемо використовувати при програмуванні контролера. Такі команди матимуть наступний вигляд:

$$Y_1 = t_5 * X_{16}$$

$$Y_{\overline{1}} = X_{16}$$

$$Y_2 = t_6 * X_{17}$$

$$Y_{\overline{2}} = X_{17}$$

$$Y_3 = t_{\overline{7}}$$

$$Y_{\overline{3}} = X_{16}$$

$$Y_4 = t_8 * X_{17}$$

$$Y_{\overline{4}} = X_{17}$$

$$Y_5 = t_{\overline{8}} * X_{17} * X_{st} * X_{16}$$

$$Y_{\overline{5}} = t_{\overline{1}} * X_{16}$$

$$Y_6 = t_{\overline{5}} * X_{16} * X_{17}$$

$$Y_{\overline{6}} = t_{\overline{2}} * X_{17}$$

$$Y_7 = t_{\overline{6}} * X_{16} * X_{17}$$

$$Y_{\overline{7}} = t_{\overline{3}} * X_{16}$$

$$Y_8 = t_{\overline{7}} * X_{16} * X_{17}$$

$$Y_{\overline{8}} = t_{\overline{4}} * X_{17}$$

$$Y_9 = t_5 * X_{16} * \overline{t_9}$$

$$Y_{\overline{9}} = t_6 * X_{17} * \overline{t_9}$$

$$Y_{10} = t_5 * X_{16} * \overline{t_{10}}$$

$$Y_{\overline{10}} = t_6 * X_{17} * \overline{t_{10}}$$

$$Y_{11} = t_5 * X_{16} * \overline{t_{11}}$$

$$Y_{\overline{11}} = t_6 * X_{17} * \overline{t_{11}}$$

$$Y_{12} = t_5 * X_{16} * \overline{t_{12}}$$

$$Y_{\overline{12}} = t_6 * X_{17} * \overline{t_{12}}$$

$$Y_{13} = t_5 * X_{16} * \overline{t_{13}}$$

$$Y_{\overline{13}} = t_6 * X_{17} * \overline{t_{13}}$$

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         | 62   |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

$$Y_{14} = t_6 * X_{16}$$

$$Y_{\overline{14}} = t_7 * X_{\overline{16}}$$

$$Y_{15} = t_7 * X_{16}$$

$$Y_{\overline{15}} = t_7 * t_8 * X_{17} * X_{16}$$

$$X_{16} = t_1 * t_9 * t_{10} * t_{11} * t_{12} * t_{13}$$

$$Y_{\overline{16}} = t_{\overline{14}} * t_{15} * t_3$$

$$X_{17} = t_2 * t_{14} * t_{\overline{9}} * t_{\overline{10}} * t_{\overline{11}} * t_{\overline{12}} * t_{\overline{13}}$$

$$X_{\overline{17}} = t_4 * t_{15}$$

Як і у попередньому випадку, використовуємо різні таймери для прямого і зворотного ходу. Це обґрунтовано тим, що ми не можемо нехтувати зворотнім ходом пневматичних приводів. Використання одного таймера для прямого і зворотного ходу також неможливе: через різне навантаження час прямого і зворотного ходу дещо відрізняється. Для керування елементами пам'яті використання таймерів не потрібно через високу швидкість спрацювання. Отже мінімальна допустима кількість таймерів для нормального функціонування системи – 30. Команди, що запускать відлік таймера матимуть наступний вигляд:

$$t_1 = t_5 * X_{\overline{16}}$$

$$t_{\overline{1}} = X_{16}$$

$$t_2 = t_6 * X_{\overline{17}}$$

$$t_{\overline{2}} = X_{17}$$

$$t_3 = t_{\overline{7}}$$

$$t_{\overline{3}} = X_{16}$$

$$t_4 = t_8 * X_{17}$$

$$t_{\overline{4}} = X_{\overline{17}}$$

$$t_5 = t_{\overline{8}} * X_{\overline{17}} * X_{st} * X_{\overline{16}}$$

$$t_{\overline{5}} = t_{\overline{1}} * X_{16}$$

$$t_6 = t_5 * X_{16} * X_{17}$$

$$t_{\overline{6}} = t_{\overline{2}} * X_{17}$$

$$t_7 = t_{\overline{6}} * X_{16} * X_{17}$$

$$t_{\overline{7}} = t_{\overline{3}} * X_{\overline{16}}$$

$$t_8 = t_{\overline{7}} * X_{\overline{16}} * X_{17}$$

$$t_{\overline{8}} = t_{\overline{4}} * X_{\overline{17}}$$

$$t_9 = t_5 * X_{\overline{16}}$$

$$t_{\overline{9}} = t_6 * X_{\overline{17}}$$

$$t_{10} = t_5 * X_{\overline{16}}$$

$$t_{\overline{10}} = t_6 * X_{\overline{17}}$$

$$t_{11} = t_5 * X_{\overline{16}}$$

$$t_{\overline{11}} = t_6 * X_{\overline{17}}$$

$$t_{12} = t_5 * X_{\overline{16}}$$

$$t_{\overline{12}} = t_6 * X_{\overline{17}}$$

$$t_{13} = t_5 * X_{\overline{16}}$$

$$t_{\overline{13}} = t_6 * X_{\overline{17}}$$

$$t_{14} = t_6 * X_{16}$$

$$t_{\overline{14}} = t_7 * X_{\overline{16}}$$

$$t_{15} = t_7 * X_{16}$$

$$t_{\overline{15}} = t_{\overline{7}} * t_8 * X_{17} * X_{16}$$

Висновок: складені команди керування дозволять спростити процес написання програми для маніпулятора, та значно структурує код програми. Будемо використовувати їх в процесі подальшого проектування мобільного пристрою.

#### 4.4 Підбір програмованого логічного контролера

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         | 64   |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |



Програмовані логічні контролери ПЛК (Programmable logic controllers, PLC) це блочно-модульні мікропроцесорні системи універсального і загального призначення, призначені для автоматизації в різних галузях промисловості, техніки і сферах інженерної діяльності. Основною відмінністю від комп'ютерів, у звичайному розумінні цього слова, вважається відмінність у кількості пристроїв вводу-виводу. Через специфіку роботи і конструкцію, контролер має можливість забезпечити надійну роботу системи в несприятливих умовах: в широкому діапазоні температур, вібраціях, з сильними електромагнітними завадами, при високій вологості тощо. [16]

На даному етапі роботи було прийнято рішення застосувати контролер Arduino Mega 2560 Rev3, з наступних причин. По-перше, модуль Arduino Mega досить простий у програмуванні, має відносно невеликі габаритні розміри. По-друге, відповідає усім необхідним характеристикам технічного завдання. Технічні характеристики плати контролера Arduino Mega 2560 Rev3 наведені у таблиці 4.1.



Рисунок 4.5 Зовнішній вигляд контролера Arduino Mega 2560 Rev3

Таблиця 4.1

Технічні характеристики плати контролера Arduino Mega 2560 Rev3.[17]

| Параметр                                | Значення    |
|---|-------------|
| Мікроконтролер                          | ATmega2560  |
| Робоча напруга                          | 5 В         |
| Напруга живлення (рекомендована)        | 7-12 В      |
| Напруга живлення (максимальна)          | 6-20 В      |
| Кількість цифрових входів/виходів       | 54          |
| Кількість аналогових входів             | 16          |
| Максимальна сила струму одного вихода   | 40 мА       |
| Максимальна сила струму на виході 3.3 В | 50 мА       |
| Flash-пам'ять                           | 256 Кб      |
| Тактова частота                         | 16 МГц      |
| Габаритні розміри                       | 10,2×5,4 см |

Проаналізувавши дані з таблиці 4.1, переконалися що обраний контролер підходить нам лише в якості тестового зразка. Через великі габаритні розміри плати площа перекриття на секції збільшиться, і рух реального маніпулятора буде дуже відрізнятися від розрахованої системи. Тому на наступних етапах розробки запропоновано замінити контролер Arduino Mega 2560 Rev3 меншими аналогами. Але для тестового зразка обраний контролер цілком підходить.

#### 4.4 Підбір елементів електропневматичної частини системи керування

Виходячи з необхідного функціоналу, виконаємо підбір необхідних компонентів нашої системи, яка складається з трьох частин: пневматичної,

електричної і перехідних компонентів, які поєднують обидві системи. Результат аналізу необхідних компонентів наведено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Підбір апаратури для керування мобільним пристроєм.

| Операція                                  | Виконавчі пристрої                              | К-ть |
|---|---|------|
| Фіксація секції                           | Пневмоциліндр двухсторонньої дії                | 20   |
| Зміна площі умовного проходу трубопроводу | Пневмоциліндр односторонньої дії                | 4    |
| Переміщення секції 1                      | Пневмоциліндр двухсторонньої дії                | 5    |
| Переміщення секцій 2-4                    | Пневмоциліндр двухсторонньої дії                | 2    |
| Керування циліндрами 1-4 (Рис. 4.1)       | Пневморозподільник 2/4 з електричним керуванням | 4    |
| Керування циліндрами 5-8 (Рис. 4.1)       | Пневморозподільник 3/4 з електричним керуванням | 20   |
| Керування циліндрами 9-13 (Рис. 4.1)      | Пневморозподільник 3/4 з електричним керуванням | 5    |
| Керування циліндрами 14-15 (Рис. 4.1)     | Пневморозподільник 2/4 з електричним керуванням | 2    |
| Керування системою                        | Контролер Arduino Mega 2560 Rew3                | 1    |
| Передавач інформації                      | Плата розширення Arduino GSM                    | 1    |
| Камера спостереження                      | Камера Caddx Kangaroo 2.1mm                     | 1    |
| Підсилення сигналу                        | Транзисторний підсилювач типу pnp               | 30   |

## РОЗДІЛ 5. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

Важливою задачею, з якою стикається фактично кожне існуюче підприємство це підвищення ефективності виробництва через зниження його собівартості. Провідну позицію у вирішенні даного питання займає саме індустрія машинобудування. Це пов'язано з великою відповідальністю, що стоїть за цією галуззю, продукція має виготовлятися швидко та якісно, а підприємство при цьому має бути максимально безпечним та екологічним. Найважливішими задачами в доповненні до вищесказаного є підвищення продуктивності людської праці, та полегшенні її фізичної складової, а також зниження питомої металоємкості, та загальної кількості споживчих ресурсів. Через те, потрібно підходити з максимальною уважністю до розробки технологічного процесу, який має на меті забезпечити високу якість продукції з найменшими та оптимальними витратами як природних, так і людських ресурсів.[18]

У пояснювальній записці наведений порядок і всі етапи розробки технологічного процесу виготовлення деталі «Дросельна заслінка»: технологічний контроль якості кресленика, аналіз службового призначення деталі та умов її роботи у вузлі, вибір способу виготовлення заготовки та його технічне обґрунтування, визначення припусків та допусків аналоговим способом, призначення послідовності виконання операцій та проектування їх змісту, вибір устаткування та інструментів для кожної операції технологічного процесу та визначення елементів режимів різання аналоговим способом.

### 5.1 Технологічний розділ

#### 5.1.1 Технологічний контроль якості кресленика

Креслення деталі під час проектування технологічного процесу її виготовлення є вихідним і найважливішим документом. Робоче креслення деталі

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         | 68   |

має бути проконтрольоване технологом, у відповідності до ГОСТ 14.206-73. Відомості, необхідні для якісного виготовлення деталі, що входять у креслення, надають повне уявлення про конфігурацію деталі, а також усі проекції, розрізи, перерізи, які пояснюють її конструкцію. [19]

Проаналізувавши креслення можна сказати, що на ньому вказані всі необхідні для виготовлення деталі розміри. Невказана шорсткість та шорсткість усіх поверхонь деталі позначена відповідно до ГОСТ 2789-73. Допуски та відхилення розмірів наведено відповідно до ГОСТ 25346-89 та ГОСТ 25347-82. [19]

#### 5.1.2 Аналіз службового призначення деталі та умов її роботи у вузлі

Деталь «Дросельна заслінка» (Рис. 5.1) є складовою вузла поворотної секції трубопровідного маніпулятора, виконує обертовий рух відносно нерухомої частини відповідної секції, і знаходиться у середовищі середнього надлишкового тиску. Деталь майже не контактує з іншими елементами вузла, отже суворих вимог до її виготовлення майже немає. В контакті знаходиться лише поверхні п'яти круглих отворів, поверхня епілептичного отвору і напівкруглі канавки. Отвори складної конфігурації і торцеві поверхні деталі інших частин вузла не торкаються.

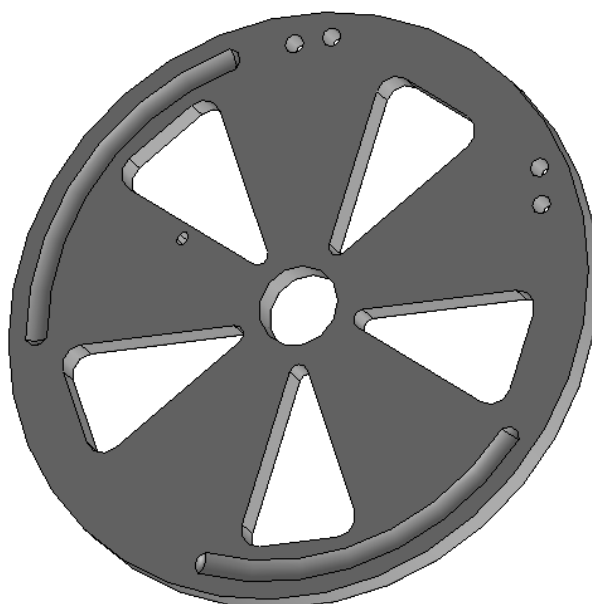


Рисунок 5.1 Модель поворотної заслінки

Дана деталь має відносно нескладну зовнішню форму. Деталь «Дросельна заслінка» в центрі має отвір  $\varnothing 17$  Н7 з шорсткістю  $Ra = 3,2$  мкм, 4 отвори  $\varnothing 4$  Н7, один отвір овальної форми, 2 проточені канавки та 5 отворів складної конфігурації, що видно на кресленні (Рис 5.2). Невказана шорсткість  $Ra = 6,3$  мкм. Габаритні розміри деталі –  $\varnothing 125$  мм, ширина 6 мм. Невказані граничні відхилення валів виконані за ДСТУ ISO 2768-с.

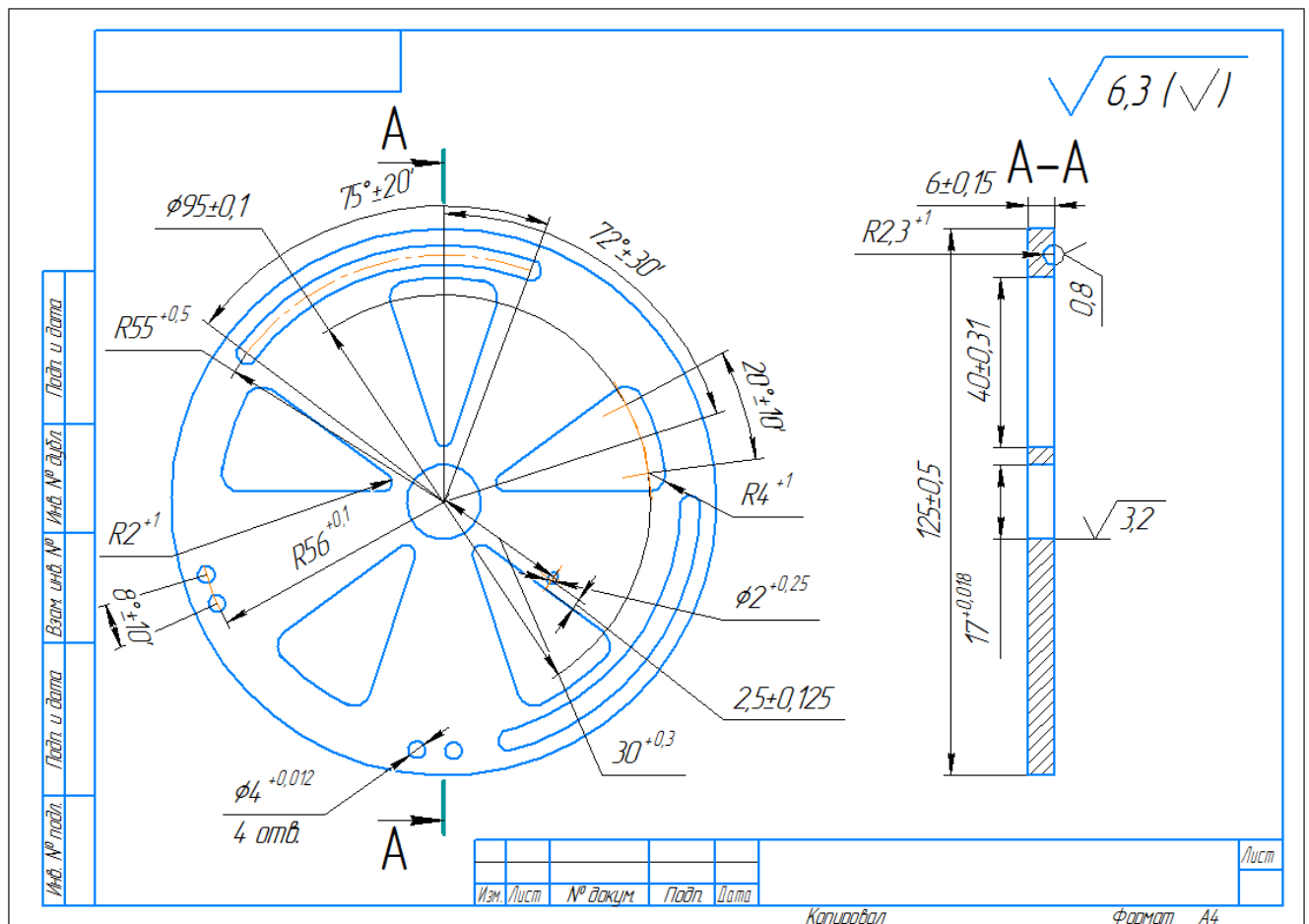


Рисунок 5.2 Креслення деталі.

Поворотна заслінка виготовляється з сплаву д16т ГОСТ 4784-97 «Алюміній і сплави алюмінієві деформуємі», що призначений для виготовлення напівфабрикатів, а саме: стрічок в рулонах, листів, кіл-дисків, плит, смуг, прутків, профілів, шин, труб, дроту, поковок і штампованих поковок методом

гарячої або холодної деформації, а також слябів та злитків. Фізико-механічні, хімічні технологічні та інші властивості даного алюмінієвого сплаву приведено в табл. 5.1. [20]

Таблиця 5.1 Характеристика матеріалу сплав Д16т ГОСТ 4784-97 [20]

| Механічні характеристики               |          |
|--|----------|
| Показники                              | Значення |
| Міцність при розтягу, МПа              | 245      |
| Міцність при згині, МПа                | 120      |
| Модуль пружності, МПа                  | 0,72     |
| Твердість по Бринелю, НВ               | 105      |
| Відносний розтяг при розриві, %        | 12       |
| Термічні характеристики                |          |
| Показники                              | Значення |
| Температура можливого застосування, °С | До -230  |
| Фізичні характеристики                 |          |
| Показники                              | Значення |
| Щільність при 23°С, кг/м <sup>3</sup>  | 2770     |

### 5.1.3 Вибір способу виготовлення заготовки та його технічне обґрунтування

Розробку технологічного процесу виготовлення деталі починають з вибору заготовки. Вибрати заготовку – означає визначити спосіб її отримання, розрахувати або підібрати за таблицями припуски на механічну обробку усіх поверхонь і вказати допуски на виготовлення заготовки. З економічної точки зору та враховуючи одиничний або малосерійний тип виробництва, матеріал деталі та її конфігурації у якості заготовки приймаємо калібрований круг Ø 130, та шириною 15мм, ескіз якої наведено на рис. 5.3. [21]

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         | 71   |

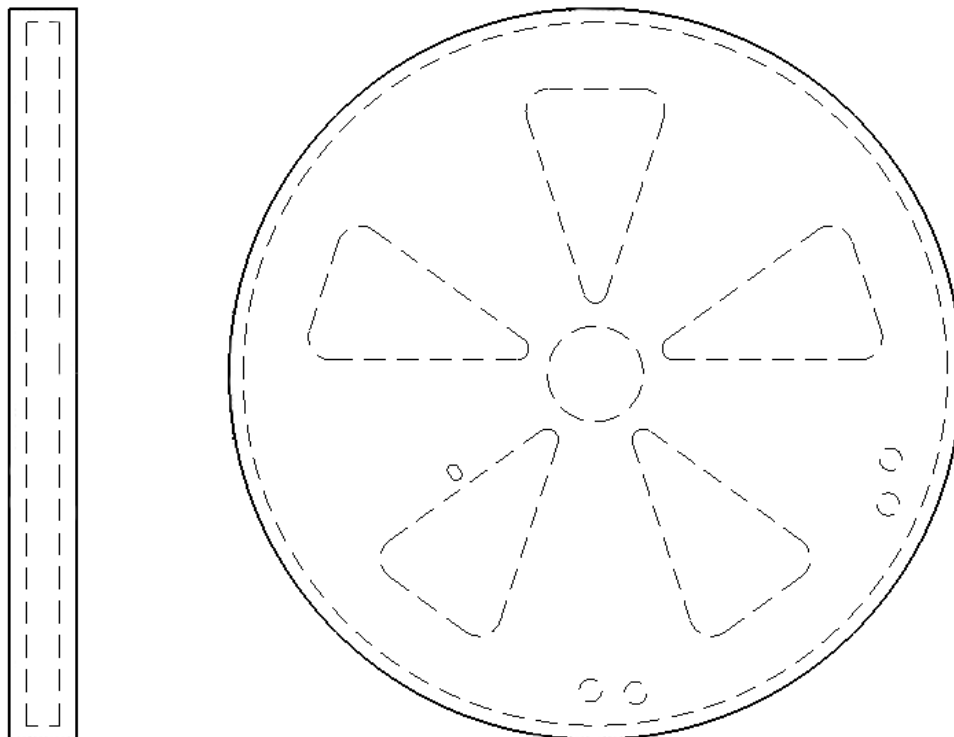


Рисунок 5.3 Ескіз заготовки

3D модель заготовки зображена на рис. 5.4.

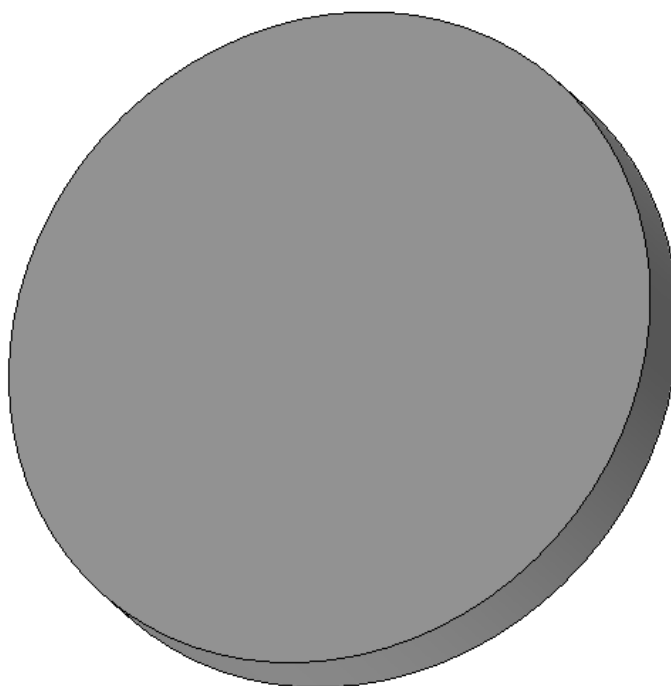


Рисунок 5.4 3D модель заготовки



Користуючись ГОСТ 7505-89 визначимо розміри заготовки, призначивши припуски та допуски на основні оброблювані поверхні.

## 5.2. Проектування маршрутного технологічного процесу

### 5.2.1. Вибір типового технологічного процесу

На рис. 5.5 зображено послідовність оброблення поверхонь деталі «Поворотна заслінка», а в табл. 5.3 наведено варіанти їх оброблення. Проте, при розробці технологічних процесів необхідно враховувати, що похибки відхилення форми і, особливо, взаємного розташування оброблених поверхонь в основному визначаються точністю обладнання і пристроїв.[21]

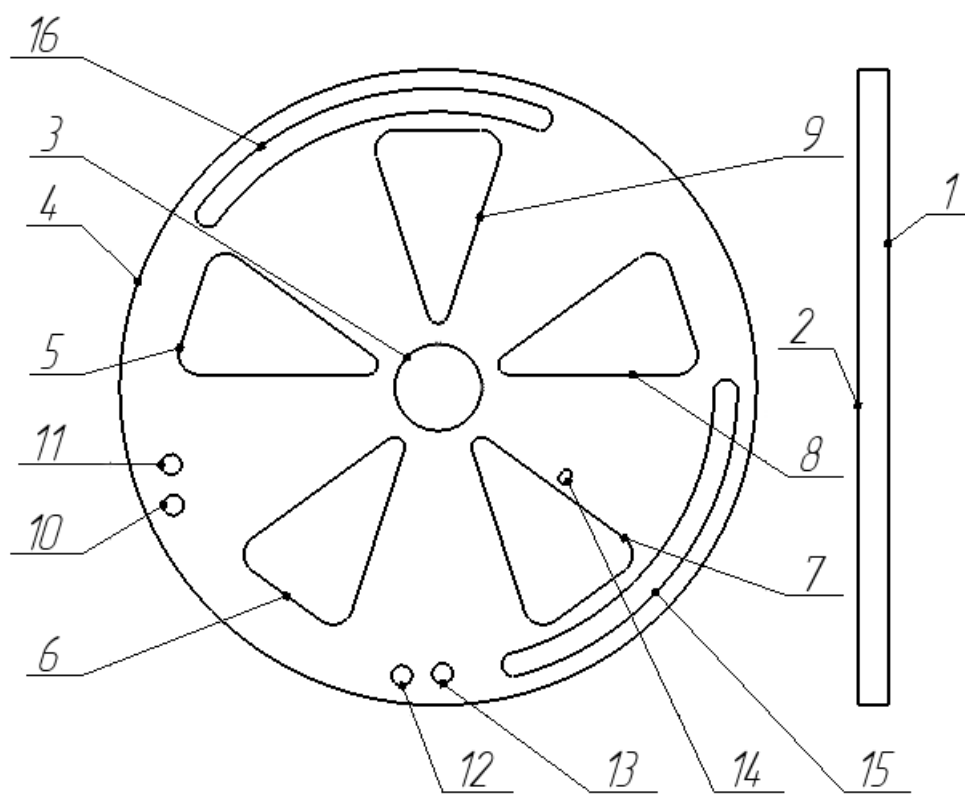


Рисунок 5.5 Послідовність оброблення поверхонь деталі «Поворотна заслінка»

Таблиця 5.3 Типові технологічні послідовності оброблення, прийняті  
для оброблення робочих поверхонь деталі «Поворотна заслінка»

| №  | Назва поверхні,<br>габаритні розміри, поля допусків,<br>шорсткість | Назва операції   |
|----|--|--|
| 1  | Плоска поверхня (торець), Ø125,<br>Ra6,3                           | підрізання<br>торця  |
| 2  | Плоска поверхня (торець), Ø125,<br>Ra6,3                           | підрізання<br>торця  |
| 3  | Внутрішня циліндрична, Ø17 H7,<br>Ra3,2                            | Свердління отвору  |
| 4  | Зовнішня циліндрична, Ø125 f9,<br>Ra6,3                            | точіння чорнове<br>точіння напівчистове<br>точіння чистове |
| 5  | Внутрішня, складної конфігурації<br>Найменший радіус R2 Ra 6,3     | фрезерування   |
| 6  | Внутрішня, складної конфігурації<br>Найменший радіус R2 Ra 6,3     | фрезерування   |
| 7  | Внутрішня, складної конфігурації<br>Найменший радіус R2 Ra 6,3     | фрезерування   |
| 8  | Внутрішня, складної конфігурації<br>Найменший радіус R2 Ra 6,3     | фрезерування   |
| 9  | Внутрішня, складної конфігурації<br>Найменший радіус R2 Ra 6,3     | фрезерування   |
| 10 | Внутрішня, циліндрична, Ø4 H7<br>Ra 1,8                            | Свердління отвору  |
| 11 | Внутрішня, циліндрична, Ø4 H7<br>Ra 1,8                            | Свердління отвору  |

|    |   |                   |
|----|---|-------------------|
| 12 | Внутрішня, циліндрична, Ø4 H7<br>Ra 1,8 | Свердління отвору |
| 13 | Внутрішня, циліндрична, Ø4 H7<br>Ra 1,8 | Свердління отвору |
| 14 | Внутрішня Ø 2 Ra 3,2                    | Фрезерування      |
| 15 | Зовнішня, напівкругла R2,5 Ra 0,8       | Фрезерування      |
| 16 | Зовнішня, напівкругла R2,5 Ra 0,8       | Фрезерування      |

### 5.2.2 Вибір типу обладнання, пристроїв та інструменту

Вибір типу обладнання, пристроїв та інструменту проводиться виходячи з типу виробництва. У даному випадку тип виробництва – одиничний. В подальшому, якщо проектуємий тестовий зразок пристрою виявиться функціональним і економічно вигідним можливий перехід до малосерійного виробництва.

Одиничне виробництво характеризується необхідністю застосування універсального обладнання, універсальної оснастки, універсального робочого та вимірювального інструменту. Пристосування для обробки деталей на верстатах мають універсальний характер, тобто можуть бути використані в різних випадках. Необхідний при цьому виді виробництва ріжучий інструмент також повинен бути універсальним, тому що через розмаїття оброблюваних деталей застосування спеціального інструменту економічно не доцільно. Таким чином, виходячи із зазначених вище рекомендацій, вибираємо обладнання: фрезерний станок HAAS ST-25 (рис.5.6).



Рисунок 5.6 Зовнішній вигляд станка HAAS ST-25

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         | 76   |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

## РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності. Мета охорони праці – звести до мінімуму можливість ураження чи захворювання працюючого з одночасним забезпеченням максимальної продуктивності праці [21].

Дотримання всіх норм з охорони праці є дуже важливою складовою роботи, в тому числі і роботи за комп'ютером. Тема бакалаврського дипломного проекту - «Поворотний модуль трубопровідного маніпулятора». Робота виконувалася з використанням лише ПК, так як була зроблена лише проектна робота. Негативними факторами з якими людина може стикнутися під час роботи над дипломом це недостатній рівень освітлення, через яке виникає велике зорове навантаження, погані мікрокліматичні умови, небезпека ураження струмом, та пожежна небезпека.

### 6.1 Опис приміщення

Через ситуацію що склалася у світі, можливості написання даної бакалаврської роботи в аудиторії університету у студентів не було. Через це, весь процес роботи був виконаний удома, а робочим місцем вважатимемо звичайну жилу кімнату. Через це такі фактори як шум і сильні вібрації відсутні. Геометричні параметри робочого приміщення (Рис. 6.1) наступні: довжина – 5 м, ширина – 3,5 м, висота – 2,8 м. Відповідно, площа робочого приміщення буде становити  $S = 5 * 3.5 = 17.5 \text{ м}^2$ , а об'єм –  $V = 5 * 3,5 * 2,8 = 49 \text{ м}^3$ .

Зважаючи на те, що приміщення невиробниче, розгляну такі пункти у своїй роботі:

1. Мікроклімат робочого середовища;

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         | 77   |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

2. Освітлення робочого місця;
3. Електробезпека;
4. Пожежна безпека.

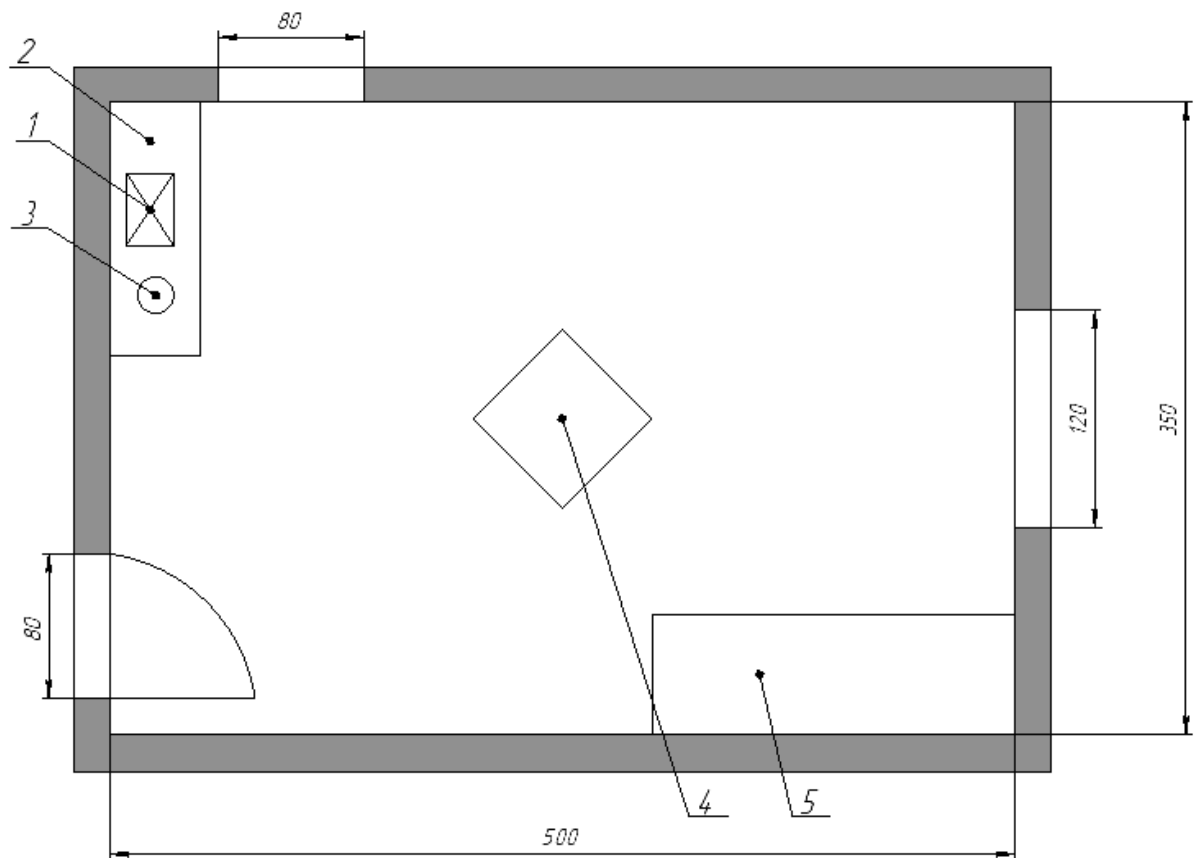


Рисунок 6.1 Загальна схема приміщення

(1 – ПК, 2 – робочий стіл, 3 – настільна лампа, 4 – лампа, 5 – шафа)

В якості висновку зможу назвати моменти, які необхідно покращити для поліпшення умов праці.

## 6.2 Мікроклімат робочого середовища

Величини показників мікроклімату у робочій зоні порівнюються з оптимальними показниками умов мікроклімату приміщень. Виходячи з ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», визначаємо дану роботу, як легку фізичну роботу категорії I при якій витрата

енергії дорівнює 105 - 140 Вт (90 – 120 ккал/год.) - категорія Іа, тобто робота, що виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження [22].

Мікрокліматичні умови приміщень характеризуються такими показниками: температура повітря, відносна вологість повітря, швидкість руху повітря, інтенсивність теплового (інфрачервоного) опромінення, температура поверхні [22].

Таблиця 6.1

#### Основні параметри мікроклімату

| Період року | Температура, °С |             |            | Відносна вологість, % |        |
|-------------|-----------------|-------------|------------|-----------------------|--------|
|             | Оптимальна      | Фактична    |            | Оптимальна            | Дійсна |
|             |                 | Верхня межа | Нижня межа |                       |        |
| Холодний    | 21-24           | 24          | 21         | 40-60                 | 55     |
| Теплий      | 23-28           | 24          | 23         | 40-60                 | 43     |

Робота проводилась в основному у теплий період року, середня температура у приміщенні дорівнювала 23°С. Відносна вологість становила близько 45%. З цього можемо зробити висновок, що мікрокліматичні умови робочого приміщення під час виконання роботи були сприятливими.

#### 6.2 Освітлення робочого приміщення

Наступним пунктом, який я розгляну буде освітлення приміщення. Освітлення – дуже важний фактор, неоптимальні показники якого можуть призвести до напруги зору, зниження концентрації і настання передчасної стомлюваності, або ж засліплення, роздратування і біль в очах. В будь-якому випадку, недостатня або надмірна освітленість призводить до зниження продуктивності праці [23].

Оскільки вся робота виконується за ПК, що вже значно підвищує навантаження на зір людини, природнього освітлення точно недостатньо, навіть у теплий період року. У робочому приміщенні використовується як природнє освітлення двох вікон, так і штучне освітлення, з двох джерел енергії, настільної лампи, і енергозберігаючої лампи, о знаходиться на стелі. Виходячи з цього, розрахуємо рівень освітленості робочого приміщення. Для розрахунку освітлення приміщення, площ якого становить 17,5 м<sup>2</sup> використаємо метод світлового потоку.

Світловий потік розраховуємо за наведеною нижче формулою і порівняємо його допустимим значенням.

$$E_{\phi} = \frac{F_{\text{л}} N n \eta}{S k_3 z}, \quad (6.1)$$

де  $F_{\text{л}}$  - світловий потік лампи, Лм, (тут  $F_{\text{л}} = 2100$  лк);

$N$  - кількість світильників, од.;

$n$  - кількість ламп у світильнику, од.;

$\eta$  - коефіцієнт використання світлового потоку;

$S$  - площа освітлюваного приміщення, м<sup>2</sup> (тут  $S = 17.5$  м<sup>2</sup>);

$z$  - коефіцієнт мінімальної освітленості, що характеризує нерівномірність освітленості (тут  $Z = 1.1$ );

$k_3$  - коефіцієнт запасу, який враховує зниження рівня світлового потоку лампи

$$E_{\phi} = \frac{3000 \cdot 5 \cdot 0,56}{17,5 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 300,6 \text{ лк}$$

Для встановленої системи освітлення визначимо нормоване значення освітленості, яке залежить від характеристики зорової роботи при роботі над



дипломною роботою:  $s_o = 3\text{м}$  – мінімальний розмір об’єкта, що розпізнається, характеристика фону – світла, контраст об’єкта розпізнавання з фоном – великий. З заданих параметрів можемо встановити, що  $E_n = 300$  лк. [23]

Виходячи з типу ламп, а саме світлодіодні світильники Powerlux 30W E27 4000K, світловий потік відповідатиме значенню  $F_n = 3000$  лк. Як бачимо, в нашому випадку світловий потік становить 494,5 лк. Це свідчить про те, що наше приміщення освітлено достатньо і додаткового освітлення робоче місце не потребує.

На підставі характеристики системи освітлення і розмірів приміщення визначимо фактичну освітленість у приміщенні. Для цього визначаємо індекс приміщення  $i$  по формулі (1) [23]

$$i = \frac{a \cdot b}{h_c \cdot (a + b)} = \frac{5 \cdot 3,5}{2 \cdot (5 + 3,5)} = 1,03, \quad (6.2)$$

Де  $a = 5$  м і  $b = 3,5$  м - довжина і ширина приміщення,

$h_c = 2$  м – висоту підвісу світильника над робочою поверхнею.

Виходячи з індексу приміщення ( $i$ ) та коефіцієнтів відбиття стелі, стін і підлоги ( $\rho_{cl}$ ,  $\rho_{cn}$ ,  $\rho_n$ ), визначили коефіцієнт використання світлового потоку  $\eta$ .

Стеля приміщення свіжопобілена  $\rho_{cl} = 70\%$ , стіни мають світло-бежевий колір  $\rho_{cn} = 50\%$ , підлога паркетна  $\rho_n = 30\%$ . Висота робочої поверхні  $h_p$  становить 0,8м [23].

Порівнюємо фактичне значення освітленості, що створює у приміщенні задана система загального штучного освітлення, з нормативним значенням штучного освітлення робочої зони [23]:

$$\frac{E_n - E_{\phi}}{E_n} \cdot 100\% = \frac{300 - 300}{300} \cdot 100\% = 0\%$$

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         | 81   |

На підставі отриманих результатів можна відзначити відповідність системи штучного освітлення у розглянутому приміщенні нормативним вимогам, оскільки, відхилення фактичного значення від нормативного менше ніж 10% (в нашому випадку відхилення рівне 0), отже, освітлення у приміщення відповідає усім вимогам.

### 6.3 Електробезпека робочого приміщення

Кімната належить до невиробничих приміщень. Світильники надійно підвішені до стелі й мають світлорозсіювальну арматуру. Корпуси й кришки електровимикачів і електророзеток не мають відколів і тріщин, а також відсутні оголені контакти. Усі електророзетки та пристрої промарковані за номінальною напругою [24].

Основні причини нещасних випадків, пов'язаних із дією електричного струму, можна об'єднати у такі групи:

- випадкове доторкання до струмопровідних частин, що перебувають під напругою;
- несправність захисних засобів, якими потерпілий доторкався до струмопровідних частин;
- поява напруги на металевих частинах електрообладнання унаслідок пошкодження ізоляції струмопровідних частин електрообладнання, замикання фази на землю тощо;

Отже, щоб звести до мінімуму ризик ураження електричним струмом, перед тим, як вмикати електроприлад, необхідно;

- візуально перевірити електрошнур на наявність механічних ушкоджень;
- при необхідності електроприлади мають бути надійно заземлені згідно з правилами їх встановлення;
- не працювати з електроприладами вологими руками;
- не залишати електроприлади без нагляду на тривалий час;

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         | 82   |

- після закінчення роботи перевірити, чи всі прилади вимкнені;
- у разі виявлення несправності негайно викликати електрика [24].

#### 6.4 Пожежна безпека будинку

Розглянемо питання пожежної безпеки приміщення, у якому виконувалась дипломна робота.

Згідно пожежної небезпеки приміщення, у якому розміщений ПК, відносять до категорії В. Дані приміщення мають задовольняти вимоги стосовно запобігання та гасіння пожежі, також обов'язково наявними повинні бути телефонний зв'язок та пожежна сигналізація. [25].

У даному випадку мова йде про приватний будинок, кожне приміщення якого обладнано пожежною сигналізацією згідно всіх норм. Провідного телефонного зв'язку у приміщенні немає, але є змога здійснювати виклики за допомогою сучасних мобільних телефонів.

За ДБН В.1.1-7:2016 будівля відповідає II ступеню вогнестійкості, що потребує від пожежників досить швидкої реакції.

Суттєвим недоліком робочого приміщення є відсутність вогнегасника. Зважаючи на площу та тип приміщення, обираємо Вогнегасник вуглекислотний ВВК-1,4 (ОУ-2) в кількості – 1шт. Вогнегасник ОУ-2 - легкий і зручний засіб ліквідації вогнищ займання або задимлення. Цією моделлю без зусиль можуть скористатися люди без відповідної кваліфікації і навичок, жінки і особи похилого віку. Конструкційно вогнегасник складається з металевого балона червоного кольору, замочно-пускового механізму із запобіжником і розтруба. Характер гасячого складу робить цю модель ідеальним рішенням для офісних будівель і споруд, приміщень з обчислювальною технікою і офісним обладнанням, складських будівель, музеїв, бібліотек і приміщень з товарно-матеріальними цінностями. [26]

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         | 83   |

Будинок збудований з цегли та інших природних матеріалів, що не є легкозаймистими, тому можна впевнено сказати, що пожежу, яку неможливо потушити самому, допустити досить важко. У тому ж разі, якщо пожежа таки сталася і почала нарощувати сили варто здійснювати евакуацію із кімнати швидко та чітко, а основне – без паніки [27].

Таким чином при розробці даного розділу було розглянуто такі питання охорони праці:

1. Мікроклімат робочого середовища;
2. Освітлення робочого місця;
3. Електробезпека робочого приміщення;
4. Пожежна безпека будинку.

Висновок: умови праці на робочому місці та загальна безпека приміщення повністю відповідає основним нормам. Рекомендація – встановити у приміщенні вогнегасник.

## ВИСНОВОК

В даній дипломній роботі була розроблена поворотня секція для модульного мобільного пристрою для перевірки внутрішнього стану стінок газопроводів. Під час створення цього модульного мобільного пристрою було:

- 1) проведено аналіз уже існуючих приладів і розробок для аналізу газопроводів;
- 2) обґрунтовано вибір всіх необхідних елементів, які входять до складу пристрою;
- 3) проведено всі необхідні статичні та динамічні розрахунки пневматичних приводів системи, що використовуються в пристрої;
- 4) створено систему електропневматичного керування пристроєм, схему підключення з контроллером;
- 5) обґрунтовано конструктивні особливості необхідних елементів розроблюваного пристрою;
- 6) створено повну 3D модель пристрою.

Особливістю цієї розробки є те, що енергія природного газу, який транспортується по газогонам, приводить в рух систему пневматичних приводів, яка в свою чергу забезпечує рух створеного механізму. Тобто цей модульний мобільний пристрій для перевірки внутрішнього стану стінок трубопроводів на відміну від інших пристроїв, що виконують такі ж самі функції, не потребує відімкнення ділянки, що перевіряється від газопостачання. В той же час даний пристрій можна використовувати для перевірки важкодоступних ділянок газопроводів без зайвих економічних затрат. В подальшому буде вдосконалено конструкцію, і вдосконалено систему керування. Також планується створення експериментального прототипу для підтвердження роботоспроможності пристрою.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Pat. DE000010163430, Deutschland, 31.10.2002 «In Rohren Anwendbares Magnetisches Defektoskop» von Gavtjusin Aleksandr Fedorovic, Cacuev Michail Semenovic, Ferceev Grigorij Petrovcic, Tevtjukov Michail Nikolaevic, Urjadov Aleksandr Sergeevic, Karagin Boris Alekseevic.
2. Pat. RU0002599072, Російська Федерація, 10.10.2016 “Устройство Внутритрубной Дефектоскопии” Захаров Дмитрий Борисович, Зенкин Илья Андреевич, Передерий Вячеслав Иванович, Семенюга Вячеслав Владимирович, Яковлев Вадим Анатольевич.
3. Pat. RU0002704517, Російська Федерація, 29.10.2019, «Способ И Устройство Для Дефектоскопии Внутренних Защитно-изоляционных Покровий Трубопроводов» Наянзин Анатолий Николаевич.
4. <https://autsolutions.net/ndt-products/automated-ndt-scanners/accutrak-rmot/>
5. <https://ulcrobotics.com/services/cirris-xr-robotic-repair-of-large-diameter-cast-iron-mains/>
6. К. С. Голіченко. Система приводів модульного мобільного пристрою [Електронний ресурс] / С. Ю. Космина, К. С. Голіченко, О. П. Губарев. – 2019. – Режим доступу до ресурса: [http://imm-mmi.kpi.ua/proc/article/view/166796/pdf\\_14](http://imm-mmi.kpi.ua/proc/article/view/166796/pdf_14).
7. Космина С.Ю. «Мобільний пристрій для тестування газопроводу», Дипломний проект, Київ, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», 2019 р.
8. Методические указания к лабораторным работам по курсу «Пневмопривод», ч.ІІ.-Киев : КПИ – 1981.
9. Труби електросварні. ГОСТ 10704-91, 01.01.1993.
10. Пневмоциліндри поршневі. Технічні умови (ГОСТ 15608-81) : 1983. – 20 с.

|      |      |          |        |      |                         |      |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|      |      |          |        |      | ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ | Лист |
|      |      |          |        |      |                         |      |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                         | 86   |

11. Герц Е. В. Пневматические устройства и системы в машиностроении. Справочное пособие. / Е. В. Герц, Г. В. Крейгин. – Москва: Машиностроение, 1981. – 409с.

12. Герц Е. В. Расчет пневмоприводов. Справочное пособие. / Е. В. Герц, Г. В. Крейгин. – Москва: Машиностроение, 1975. – 272 с.

13. Герц Е. В. Динамика пневматических приводов машин-автоматов. Справочное пособие. / Е. В. Герц, Г. В. Крейгин. – Москва: Машиностроение, 1964. – 282 с.

14. Герц Е. В. Пневматические приводы / Е. В. Герц. – Москва: Машиностроение, 1969. – 358 с.

15. К. С. Голіченко. Поворотний модуль трубопровідного маніпулятора [Електронний ресурс] /К. С. Голіченко, С. Ю. Космина, О. П. Губарев. – 2020. – Режим доступу до ресурса: <http://imm-mm1.kpi.ua/imm2020/paper/viewPaper/21627>

16. О.И. Максимычев, А.В. Либенко, В.А. Виноградов «Программирование Логических Контроллеров (plc)» Москва 2016

17. <https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3>

18. Технологія машинобудування: [Текст]: метод. вказівки до практичних занять та самостійної роботи для бакалаврів напряму підготовки 6.050502 "Інженерна механіка" /Уклад.: С.С.Добрянський, В.К.Фролов, Ю.М. Малафєєв – К.: НТУУ «КПІ», 2012. - 67 с. (електронне видання).

19. Я. М. Радкевич, В. А. Тимирязев, А. Г. Схиртладзе, М. С. Островский. – Под ред. В. А. Тимирязева. Учебное пособие для машиностроит. спец. вузов. - 2-е изд. стер. - М.: Высш. шк., 2007. - 272 с.: ил. – Для студентов машиностроительных специальностей вузов.

20. ГОСТ 4784-97 Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые, 1997

21. Закон України "Про охорону праці" в редакції від 21 листопада 2002 р

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ</i> | Лист |
|      |      |          |        |      |                                | 87   |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                                |      |

22. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень

23. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення

24. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів

25. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні

26. ДСТУ 3675-98 Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань

27. ДБН В.1.1-7:2016 Протипожежні норми

|      |      |          |        |      |                                |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <i>ДПО1.МА612.03.00.000 ПЗ</i> | Лист |
|      |      |          |        |      |                                | 88   |
| Изм. | Лист | № докум. | Підпис | Дата |                                |      |



|               |              |                |              |                       |                                   |                       |            |        |   |
|---------------|--------------|----------------|--------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------|------------|--------|---|
| Перв. примен. | Формат       | Зона           | Поз.         | Обозначение           | Наименование                      | Кол.                  | Примечание |        |   |
|               |              |                |              |                       |                                   |                       |            |        |   |
| Справ. №      | A1           |                |              | ДПО1.МА612.03.000.002 | Поворотна секція                  | 1                     |            |        |   |
|               |              |                |              |                       | Детали                            |                       |            |        |   |
|               |              | 1              |              | МА612.03.000.001      | Секція                            | 1                     |            |        |   |
|               |              | 2              |              | МА612.03.000.002      | Поворотний циліндр                | 1                     |            |        |   |
|               |              | 3              |              | МА612.03.000.003      | Циліндр повздовжнього переміщення | 5                     |            |        |   |
|               |              | 4              |              | МА.612.03.000.004     | Шарнірне кріплення до 1ої секції  | 5                     |            |        |   |
|               |              | 5              |              | МА.612.03.000.005     | Шарнірне кріплення до 2ої секції  | 5                     |            |        |   |
|               |              |                |              |                       |                                   |                       |            |        |   |
|               |              |                |              |                       |                                   |                       |            |        |   |
|               |              |                |              |                       |                                   |                       |            |        |   |
| Подп. и дата  | Подп. и дата | Инв. № дубл.   | Взам. инв. № | Подп. и дата          | Инв. № подл.                      | ДПО1.МА612.03.000.000 |            |        |   |
|               |              |                |              |                       |                                   |                       |            |        |   |
| Изм.          | Лист         | № докум.       | Подп.        | Дата                  | Поворотна секція                  | Лит.                  | Лист       | Листов |   |
| Разраб.       |              | Голіченко К.С. |              |                       |                                   |                       |            |        | 1 |
| Пров.         |              | Губарев О.П.   |              |                       |                                   |                       |            |        |   |
| Н.контр.      |              |                |              |                       |                                   |                       |            |        |   |
| Утв.          |              |                |              |                       |                                   | НТУУ КПІ              |            |        |   |

